

Aalto-yliopisto

Insinööritieteiden korkeakoulu

Tiina Talvinen

Vantaan Kylmäojan itäisen haaran mallinnus:
Kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen vaikutukset
puron virtaamaan

Aalto-yliopisto
Teknillinen korkeakoulu
Rakennus- ja ympäristötekniikan kirjasto

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin
tutkintoa varten yhdyskunta- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelmassa.

Espoossa, 10.10.2012

Työn valvoja: Professori Harri Koivusalo

Työn ohjaajat: Diplomi-insinööri Antti Auvinen

Diplomi-insinööri Tero Niemi

Tekijä Tiina Talvinen

Työn nimi Vantaan Kylmäojan itäisen haaran mallinnus: Kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen vaikutukset puron virtaamaan

Laitos Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka

Professuuri Tekninen vesitalous**Professuurikoodi** Yhd-12

Työn valvoja Professori Harri Koivusalo

Työn ohjaaja(t)/Työn tarkastaja(t) DI Antti Auvinen ja DI Tero Niemi

Päivämäärä 10.10.2012**Sivumäärä** 118+47**Kieli** suomi

Tiivistelmä

Tavoitteena oli tutkia virtausmallin avulla kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen vaikutuksia pääosin luonnontilaisena säilyneen Kylmäojan itäisen haaran virtaamaan. Puro virtaa Tuusulan kunnasta Vantaan kaupunkiin, ja se on tärkeä elinympäristö ja ekologinen yhteys eliöstölle Vantaalla. Puron valuma-alueella on monipuolista maankäyttöä; Tuusulan puolella työpaikka-alueita ja Vantaan puolella asuinalueita sekä luonnonsuojelualue. Puron valuma-alueen kaupungistuminen ja ilmastonmuutos vaikuttavat puron virtaamaan sekä veden laatuun. Kaupungistumisen myötä rakennetaan vettä läpäisemättömiä pintaa, jolloin pintavalunta kasvaa ja puro vastaanottaa enemmän hulevesiä. Myös ilmastonmuutos voi kasvattaa valuntaa, kun äärisadantatapahtumat yleistyvät. Työssä tarkasteltiin puron kevätylivirtaamaa eri tulvatoistuvuuksilla nykytilanteessa, ja vuonna 2030 siten, että kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen vaikutukset otetaan huomioon. Työssä tarkasteltiin myös Tuusulan puolella sijaitsevia hulevesien tasausaltaita, joiden tarkoituksena on tasata työpaikka-alueelta tulevaa valuntaa luonnonmukaisemmaksi.

Virtausmallinnukseen käytettiin jokivesistöille kehitettyä yksiulotteista HEC-RAS -ohjelmaa. Malliin syötettiin maastomittauksista saadut tiedot purosta sekä sen rummuista ja sillasta. Malli kalibroitiin siivikkomittauksilla saatujen virtaamatietojen perusteella. Puron osavaluma-alueilta tuleva kevätylivaluma arvioitiin Seunan nomogrammin avulla. Alueelle ennustetun vuoden 2030 läpäisemättömän pinnan määrän avulla arvioitiin kaupungistumisen vaikutus valumaan Schuelerin (1994) esittämän läpäisemättömän pinnan määrän ja valumakertoimen yhteyden perusteella. Ilmastonmuutoksen vaikutus valumaan arvioitiin ilmatieteen laitoksen arvioiman sadannan intensiteetin kasvun perusteella.

Tutkimuksessa havaittiin puron tulvivan nykytilanteessa kerran 5 vuodessa sekä sitä harvemmin esiintyvillä virtaamilla. Puro tulvii alajuoksulla Kylmäojan korven eteläpuolella sekä Koivukylässä Kehäradan kohdalla. Puron tulviminen yleistyy ja kasvaa kaupungistumisen myötä. Myös ilmastonmuutos kasvattaa puron virtaamaa, mutta se ei ehdi vaikuttaa puron tulvimiseen merkittävästi vuoteen 2030 mennessä. Tuusulan tasausaltaat eivät juurikaan vaikuta puroon tulevaan valumaan, joten ne eivät estä puron tulvimista. Tasausaltaat vaikuttavat vähiten puron alajuoksun tulvimiseen. Puron tulvimista tulisi hillitä valuma-alueella rajoittamalla läpäisemättömän pinnan määrää sekä hallitsemalla hulevesiä niiden syntypaikalla. Puron ympärys tulisi myös säilyttää mahdollisimman luonnontilaisena puroveden määrän ja laadun tasaamiseksi.

Avainsanat Kylmäoja, Vantaa, Tuusula, kaupunkipuro, virtaama, mallinnus, kaupungistuminen, ilmastonmuutos

| | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------|
| Author Tiina Talvinen | | |
| Title of thesis Modeling the eastern branch of the Kylmäoja stream in Vantaa: The effects of urbanization and climate change on stream discharge | | |
| Department Civil and Environmental Engineering | | |
| Professorship Water Resources Engineering | Code of professorship Yhd-12 | |
| Thesis supervisor Professor Harri Koivusalo | | |
| Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s) M. Sc. (Tech.) Antti Auvinen, M. Sc. (Tech.) Tero Niemi | | |
| Date 10.10.2012 | Number of pages 118+47 | Language Finnish |

Abstract

The objective was to investigate the effects of urbanization and climate change on stream discharge in a partially preserved eastern branch of Kylmäoja stream by means of hydraulic modeling. The eastern branch flows from the municipality of Tuusula to the city of Vantaa, and it is an important habitat and ecological canal for biota in Vantaa. Land use in the catchment of the stream is versatile; there are industrial business areas in Tuusula, and residential areas along with a natural reserve in Vantaa. Urbanization in the short term and climate change in the long term affect the discharge and water quality of the stream. Urbanization increases runoff and brings more storm waters into the stream due to the increased amount of impervious surfaces. Climate change can increase runoff as extreme precipitation events become more common. This thesis studied the maximum discharge during springtime at different flood occurrences in the present situation and in the year 2030, taking into account the effects of urbanization and climate change. It also studied the functionality of two storm water retention ponds situated in Tuusula, which are designed to regulate the discharge from the industrial area to be more natural.

The hydraulic modeling was performed using a one dimensional HEC-RAS program designed for river systems. The field survey data of the stream and its hydraulic structures were entered into the model, and the model was then calibrated with discharge data collected from current meter surveys. The springtime maximum runoff from the subcatchments was estimated using Seuna's nomogram. The effect of urbanization on runoff was evaluated by means of the relation between impervious cover and runoff coefficient determined by Schueler (1994). The effect of climate change on runoff was evaluated using an estimate of increase in precipitation intensities provided by Finnish Meteorological Institute.

It was found out that at present the stream is flooding with discharges that occur once in 5 years or more rarely. Flooding occurs mostly on the downstream parts of the stream, south from the Kylmäoja woodland and in Koivukylä near the new railway Kehärata. Flooding of the stream increases and becomes more common with urbanization. Also climate change increases the discharge in the stream but it does not affect flooding significantly by 2030. The retention ponds in Tuusula hardly alter the discharge flowing into the stream, hence they do not prevent the stream from flooding. The retention ponds affect the flooding least on the downstream parts. Flooding of the stream should be restrained in the catchment by controlling the extent of impervious surfaces and managing storm waters where they form. The surrounding area of the stream should also be preserved in as natural a state as possible in order to regulate the quantity and quality of the water.

Keywords Kylmäoja, Vantaa, Tuusula, urban stream, discharge, modeling, urbanization, climate change

Esipuhe

Tämä työ on tehty Vantaan kaupungilla yhteistyössä Tuusulan kunnan kanssa. Suurkiitos Vantaan kaupungille ja Tuusulan kunnalle työn rahoittamisesta sekä mielenkiintoisen ja tärkeän aiheen tarjoamisesta diplomityölle.

Olen ollut poikkeuksellisen onnekas saadessani diplomityön tekemiseen taustatueksi kokonaisen ohjausryhmän. Kiitän koko ohjausryhmääni avusta, kommenteista ja kiinnostuksesta. Kiitos erityisesti ohjaajalleni Antti Auviselle, joka toimi lähes päivittäin tukenani ja apunani. Kiitos myös ohjaajalleni Tero Niemelle monipuolisesta avusta sekä siitä, että ajattelit aina itse diplomityön ja sen tekijän etua. Kiitän myös Ulla-Maija Rimpiläistä ahkerasta kommentoinnista ja avusta.

Sain monelta henkilöltä tarvittavia lähtötietoja diplomityön tekemiseen. Kiitos ilmastotiedoista Kimmo Ruosteenojalle ilmatieteen laitokselta, vedenlaatutiedoista Pasi Valkamalle Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistyksestä sekä valuma-aluejaosta Markus Kalsolle Vantaan kaupungilta.

Työn valvojaa professori Harri Koivusaloa kiitän kaikesta opista, avusta ja tuesta koko opiskeluaikanani, erityisesti diplomityönteon aikaan.

Kiitän perhettäni, ystäviäni ja sulhastani loputtomasta tuesta ja kannustuksesta.

Espoossa, 10.10.2012.

Tiina Talvinen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Esipuhe

| | |
|---|----|
| 1 Johdanto..... | 8 |
| 1.1 Puro kaupunkiympäristössä | 9 |
| 1.2 Tutkimusongelmat ja työn tavoitteet..... | 11 |
| 1.3 Käsitteet..... | 12 |
| 2 Aikaisempi tutkimus..... | 15 |
| 2.1 Kaupunkihydrologia..... | 15 |
| 2.1.1 Kaupungistumisen vaikutukset veden määrään..... | 17 |
| 2.1.2 Kaupungistumisen vaikutukset veden laatuun..... | 18 |
| 2.1.3 Kaupungistumisasteen ja uoman tilan yhteys..... | 21 |
| 2.2 Ilmastonmuutos | 24 |
| 2.2.1 Tausta..... | 24 |
| 2.2.2 Ilmastonmuutos Suomessa..... | 25 |
| 2.2.3 Ilmastonmuutoksen vaikutukset veden määrään | 26 |
| 2.2.4 Ilmastonmuutoksen vaikutukset veden laatuun | 30 |
| 2.2.5 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen..... | 30 |
| 2.3 Menetelmiä uomien suojeluun ja hulevesien hallintaan | 32 |
| 2.3.1 Uoman suojelemismenetelmiä kaupungistumisen vaikutuksilta | 32 |
| 2.3.2 Hulevesien hallintamenetelmiä..... | 35 |
| 2.4 Vesistömallinnus | 38 |
| 2.4.1 Erilaisten mallien soveltaminen..... | 38 |
| 2.4.2 Virtausmallinnus HEC-RAS:lla..... | 39 |
| 2.4.3 HEC-RAS:lla mallinnettuja vesistöjä | 43 |

| | |
|--|----|
| 3 Tutkimuskohde | 46 |
| 3.1 Valuma-alue | 46 |
| 3.1.1 Aluekuvaus | 46 |
| 3.1.2 Maankäytön kehitys ja vaikutukset Kylmäoan itähaaraan | 50 |
| 3.1.3 Kylmäoan korven tarjoamat ekosysteemipalvelut..... | 53 |
| 3.1.4 Luonto-, maisema- ja virkistysarvot | 54 |
| 3.2 Kylmäoan itäinen haara | 55 |
| 3.2.1 Morfologinen tila..... | 55 |
| 3.2.2 Veden laatu ja ekologinen tila | 55 |
| 3.3 Tutkimusalueen hulevedenhallintajärjestelmät..... | 58 |
| 3.3.1 Tuusula | 58 |
| 3.3.2 Vantaa | 59 |
| 4 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto..... | 60 |
| 4.1 Puron mitoitusvirtaaman määrittäminen | 60 |
| 4.1.1 Mitoitusylivirtaama nykytilanteessa..... | 60 |
| 4.1.2 Ylivirtaama vuonna 2030: kaupungistumisen vaikutus..... | 64 |
| 4.1.3 Ylivirtaama vuonna 2030: ilmastonmuutoksen vaikutus | 66 |
| 4.1.4 Ylivirtaama vuonna 2030: kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus | 67 |
| 4.1.5 Ylivirtaama vuonna 2030: kaupungistumisen, ilmastonmuutoksen sekä tasausaltaiden vedenpidätyksen yhteisvaikutus..... | 68 |
| 4.1.6 Herkkyysanalyysi | 69 |
| 4.2 Virtausmallin muodostaminen | 71 |
| 4.2.1 Virtausmallin rakentaminen..... | 71 |
| 4.2.2 Mallin kalibrointi ja validointi..... | 73 |
| 4.2.3 Malliajot..... | 78 |

| | |
|--|-----|
| 5 Tulokset | 81 |
| 5.1 Nykytilanne | 81 |
| 5.2 Vuonna 2030: kaupungistumisen vaikutus | 86 |
| 5.3 Vuonna 2030: ilmastonmuutoksen vaikutus | 88 |
| 5.4 Vuonna 2030: kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus | 90 |
| 5.5 Vuonna 2030: kaupungistumisen, ilmastonmuutoksen ja tasausaltaiden vedenpidätyksen yhteisvaikutus | 92 |
| 5.6 Herkkyysanalyysi | 94 |
| 6 Tulosten tarkastelu | 98 |
| 6.1 Nykytilanne | 98 |
| 6.2 Kaupungistumisen vaikutus tulvimiseen | 99 |
| 6.3 Ilmastonmuutoksen vaikutus tulvimiseen | 100 |
| 6.4 Kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus tulvimiseen | 101 |
| 6.5 Kaupungistumisen, ilmastonmuutoksen ja tasausaltaiden vedenpidätyksen yhteisvaikutus tulvimiseen | 101 |
| 6.6 Epävarmuustekijät | 102 |
| 7 Johtopäätökset | 105 |
| 8 Jatkosuositukset | 108 |
| Lähteet | 110 |
| Liitteet | 118 |

1 Johdanto

Kaupungistuminen voimistuu koko maailmassa. Tällä hetkellä maailman väestöstä asuu noin puolet kaupungeissa, kun 1950-luvulla vastaava luku oli 30 % (Fujita & Thisse 2002). Vuoteen 2030 mennessä maailman väestöstä yli 60 % odotetaan asuvan kaupungeissa (Fujita & Thisse 2002). Suomessa 69 % väestöstä asui kaupungeissa vuonna 2010, ja luvun odotetaan niin ikään kasvavan (Tilastokeskus 2012).

Vantaalla ja Tuusulassa on maankäyttö muuttunut voimakkaasti viimeisten vuosikymmenien aikana kaupungistumisen johdosta. Asuntotarve on suurta kasvavan väestön takia. Vuonna 2011 väestö kasvoi Tuusulassa 1,2 % (Tuusulan kunta 2012a) ja Vantaalla 1,5 % (Vantaan kaupunki 2012a). Uusia rakennuksia valmistui Tuusulassa 300 kappaletta ja rakennuslupia ja ilmoituksia myönnettiin 4 % enemmän kuin edellisvuonna (Tuusulan kunta 2012b). Vantaalla uusia asuntoja valmistui 2 132 kappaletta ja rakennuslupia myönnettiin 753 kappaletta, joista suurin osa uusille rakennuksille (Vantaan kaupunki 2012b).

Kasvava rakennuslupien ja uusien talojen määrä osoittaa Tuusulan ja Vantaan kaupungistuvan. Väestön kasvaessa rakennetaan uusien asuntojen lisäksi uusia työpaikka-alueita. Molemmissa kaupungeissa on kuitenkin edelleen myös paljon luonnontilaista aluetta. Vantaalla metsää on noin kolmannes koko Vantaan pinta-alasta (Vantaan kaupunki 2012c).

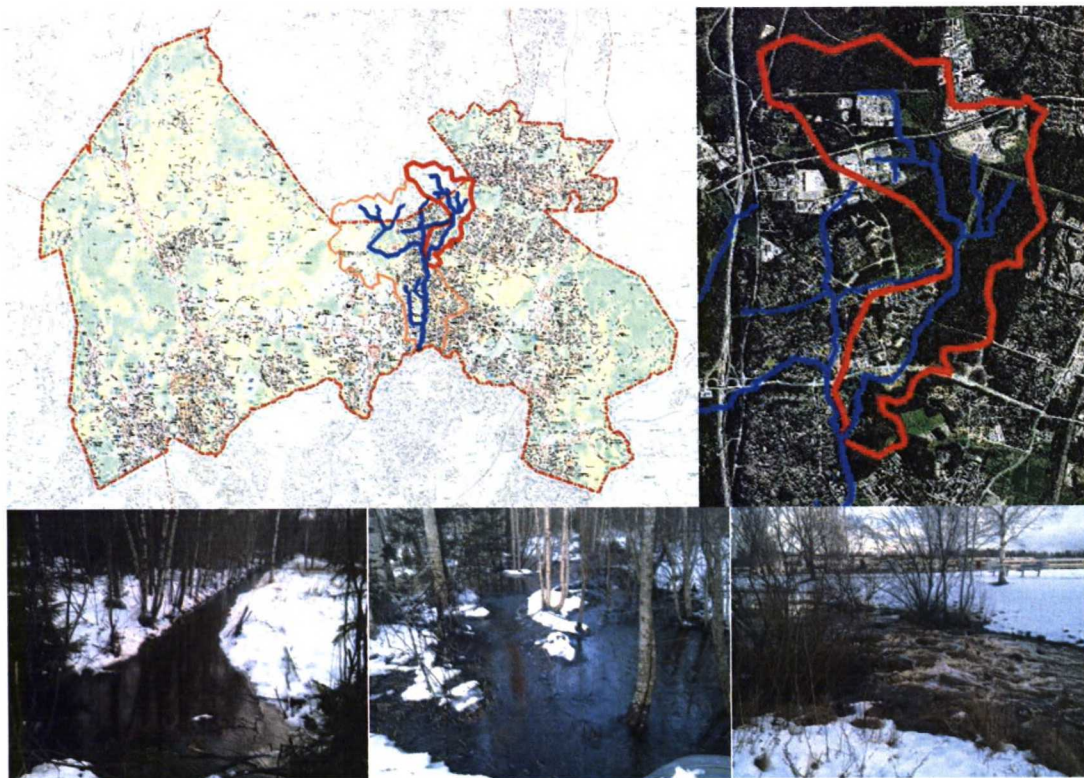
Pääkaupunkiseudun väestönkasvu ja asutokuntien pieneneminen luovat painetta uudisrakentamiselle (HSY 2012). Tällöin kaupungit sekä laajenevat että tiivistyvät. Uudisrakentamisen ja asutuksen keskittymisen johdosta vettä läpäisevän maan pinnan osuus voi pienentyä kun katot, tiet ja muut päällystetyt alueet lisääntyvät (Aaltonen et al. 2008). Tämän johdosta veden imeytyminen maaperään vähenee ja pintavalunnan määrä kasvaa. Hulevesien määrän kasvaminen aiheuttaa yleistyvää tulvimista. Lisäksi ilmastonmuutoksen arvioidaan kasvattavan sademääriä Suomessa sekä aiheuttavan mittavampia rankkasateita (Aaltonen et al. 2008). Nämä seikat taas vaikuttavat pintavalunnan lisääntymiseen ja tulvariskien kasvamiseen. Tässä työssä tutkitaan

kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen vaikutuksia pääosin luonnontilaisena säilyneeseen Kylmäojan itäiseen haaraan ja erityisesti sen virtaamaan.

1.1 Puro kaupunkiympäristössä

Muutokset maankäytössä ja ilmastossa heijastuvat Vantaalla vesiluontoon. Kaupunkipurot ovat tärkeitä Vantaan kaupunkikuvalle sekä ekologialle, sillä puro tarjoaa elinympäristön monipuoliselle eliöstölle ja toimii liikkumisreittinä niin eläimille kuin ihmisillekin. Puroluonnon monimuotoisuus kuitenkin riippuu paljolti yläpuolisesta valuma-alueesta ja maankäytöstä.

Kylmäojan itäinen haara on kaupunkipuro, joka virtaa Tuusulan kunnasta Vantaan kaupunkiin (kuva 1). Puro ja sen ympärillä oleva Kylmäojan korpi on osin rauhoitettu. Kylmäojan itäinen haara on haluttu säilyttää luonnontilaisena, jotta se voi toimia luonnon ekologisena viherkäytävänä. Kylmäojan itäisen haaran valuma-alueella Tuusulassa on paljon rakennettua ja läpäisemätöntä pintaa, mikä tulee kaavoitusten mukaan lisääntymään. Kylmäojan itäinen haara vastaanottaa hulevesiä näiltä alueilta.



Kuva 1. Ylhäällä Vantaan Kylmäojan pääuoma sivuhaaroineen sekä sen valuma-alue. Vantaan raja on kuvattu punaisella katkoviivalla, Kylmäojan pääuoman valuma-alue oranssilla ja itäisen haaran valuma-alue punaisella. Alarivissä valokuvia Kylmäojan itähaarasta; vasemmalla pohjoisesta Tuusulan puolelta, keskellä Vantaalta Kylmäojan korvesta ja oikealla Ilolankoskesta.

Vantaalla on aiemmin pyritty johtamaan hulevedet suoraan viemäriin (Vantaan kaupunki 2009). Vuonna 2009 valmistuneen Vantaan hulevesiohjelman mukaan Vantaalla on nyt uusi, luonnonmukaisempi lähestymistapa hulevesien hallintaan. Hulevesiohjelman päätavoitteina on vähentää hulevesiä sekä parantaa niiden hallintaa. Hulevesien laatua halutaan parantaa ennen niiden laskemista vesistöön, sekä samalla lisätä kaupunkiluonnon monimuotoisuutta. Vesialueista halutaan entistä arvostetumpia ja hulevesiä on tarkoitus hyödyntää positiivisena resurssina.

Vantaalla pyritään suunnittelemaan uudet asemakaavat siten, ettei niiden toteuttaminen lisää pintavesien virtaamaa. Hulevesiohjelman yhtenä päätavoitteena on pohjaveden laadun parantaminen sekä pohjaveden pinnantason säilyttäminen. Kaavoituksen ja rakentamisen lähtökohdaksi otetaan Vantaalla jatkossa vesialueiden, luontaisten tulvimisalueiden, kosteikkojen ja soistumien säilyminen (Vantaan kaupunki 2009). Näin säilytetään luonnonarvot, ja lisätään luonnon monimuotoisuutta parantamalla lajien elinolosuhteita.

1.2 Tutkimusongelmat ja työn tavoitteet

Kaupungistumisen vaikutus Kylmäojan itäisen haaran virtaamaan

Työn ensimmäisenä tavoitteena on selvittää kaupungistumisen vaikutuksia Kylmäojan itäisen haaran virtaamaan Yhdysvalloissa kehitetyn mallinnusohjelma HEC-RAS:n (Brunner 2010a) avulla. Kaupungistumisen seurauksena valuma-alueen läpäisemättömän pinnan määrä lisääntyy, jolloin hulevesien määrä kasvaa. Tämän vuoksi puron virtaama suurenee ja virtaamapiikit yleistyvät. Virtausmallin avulla tarkastellaan puron hydraulista toimintaa ja selvitetään puron käyttäytyminen kevätylivirtaamatilanteessa.

Puron virtaamaa on tavoitteena tarkastella nykytilassa sekä vuonna 2030, jolloin nykyinen kaavavaranto Kylmäojan itäisen haaran valuma-alueella on toteutunut. Työssä tarkastellaan puron ylivirtaamatilannetta ja mallinnusohjelman avulla määritetään itäisen haaran vedenkorkeudet sekä tulva-alueet erityisesti rumpujen kohdalla. Virtausmallin avulla selvitetään, onko purossa tulvivia rumpuja nykytilassa sekä vuonna 2030.

Työstä on rajattu ulos tutkimusalueen pohjavesien vaikutus puron virtaamaan. Pohjavedet vaikuttavat enemmän alivirtaamaan kuin ylivirtaamaan, ja työssä tutkitaan ylivirtaamatilannetta. Työssä keskitytään veden määrän kehitykseen, mutta taustatietona työssä kuitenkin käsitellään myös veden laatua luvussa 2 sekä tehdään katsaus Kylmäojan itäisen haaran nykyiseen veden laatuun luvussa 3. Veden laatu ja määrä ovat usein sidoksissa toisiinsa.

Ilmastonmuutoksen vaikutus Kylmäojan itäisen haaran virtaamaan

Työn toisena tavoitteena on tarkastella virtaamamallinnuksen avulla ilmastonmuutoksen vaikutuksia Kylmäojan itäiseen haaran kevätylivirtaamaan sekä tulvakorkeuksiin erityisesti rumpujen kohdalla. Ilmastonmuutostarkastelu ulotetaan vuoteen 2030, jotta työssä voidaan myös tarkastella ilmastonmuutoksen sekä kaupungistumisen yhteisvaikutuksia puron tulvimiseen.

Tuusulan tasausaltaiden vaikutus Kylmäojan itäisen haaran virtaamaan

Työn tarkoituksena on myös tarkastella Kylmäojan itäisen haaran valuma-alueella olevien Tuusulan Kulomäentien työpaikka-alueen hulevesien tasausaltaiden vaikutusta puron virtaamaan vuonna 2030, kun ilmastonmuutos ja kaupungistuminen ovat vaikuttaneet hulevesien määrään. Työssä pyritään selvittämään, voiko tasausaltaiden täydellisen vedenpidätyksen avulla hallita hulevesistä aiheutuvia tulvia.

Jatkosuositukset Kylmäojan itäisen haaran suojelemiseksi

Työssä on lisäksi tavoitteena antaa suosituksia jatkotoimenpiteistä, joiden avulla puron veden määrä ja laatu pysyisivät mahdollisimman tasaisina kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen lomassa. Vaikka puron vedenlaatua ei työssä tutkita, antaa luvun 2 kirjallisuus ja luvun 3 nykytilan kuvaus perustellut lähtökohdat puron laadullisenkin suojelun jatkotoimenpiteiden kehittämiseen.

Työssä pyritään vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- Millainen on puron virtaama nykytilanteessa ja tulviiko puro rumpujen kohdalla?
- Miten kaupungistuminen vaikuttaa puron virtaamaan ja tulvimiseen?
- Miten ilmastonmuutos vaikuttaa puron virtaamaan ja tulvimiseen?
- Miten kaupungistuminen ja ilmastonmuutos yhdessä vaikuttavat puron virtaamaan ja tulvimiseen?
- Voiko Tuusulan tasausaltaiden täydellisen vedenpidätyksen avulla hallita tulvia vuonna 2030, kun kaupungistuminen ja ilmastonmuutos ovat vaikuttaneet puron virtaamaan?
- Millaisilla jatkotoimenpiteillä puroa voitaisiin suojella kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen vaikutuksilta?

1.3 Käsitteet

Ekosysteemipalvelut

Luonnon ekosysteemit tarjoavat palveluita, jotka ovat ihmisille hyödyllisiä ja usein elämän edellytyksiä (SYKE 2008). Nämä palvelut ovat erilaisia luonnonvaroja ja

toimintoja, joihin kuuluu esimerkiksi ravinto, puhdas juomavesi ja hengitysilma. Ekosysteemipalvelut ovat ilmaisia, mutta haavoittuvia ja rajallisia. Kosteikot tarjoavat ekosysteemipalveluita pidättämällä vettä sekä parantaen sen läpi kulkevan veden laatua.

Hulevedet

Hulevedet tarkoittavat sateesta ja lumen sulamisesta peräisin olevaa valumavettä, joka kertyy rakennetulla alueella maan pinnalle tai rakennetulle pinnalle (Kuntaliitto 2012). Hulevesien syntymiseen vaikuttavat sateen rankkuus ja kesto, sitä edeltävän kuivan ajanjakson pituus, maaperän ominaisuudet sekä maanpinnan kaltevuus. Eniten hulevesien määrään vaikuttaa vettä läpäisemättömän pinnan osuus.

Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan tässä työssä kaikkia ilmastossa ajan myötä tapahtuvia muutoksia. Muutokset voivat olla ihmisten aiheuttamia tai ne voivat johtua luonnollisesta vaihtelusta, ja näitä kahta on usein vaikea erottaa toisistaan.

Kaupungistuminen

Kaupungistumisella tarkoitetaan teiden, rakennusten ja muun infrastruktuurin rakentamista maalle, joka ei aiemmin ole ollut rakentamiskäytössä (Setälä et al. 2009). Infrastruktuurin rakentaminen ja siten kaupungistuminen lisäävät alueen vettä läpäisemätöntä pintaa.

Läpäisemätön pinta

Vettä läpäisemätön pinta koostuu luonnollisista ja ihmisten tekemistä pinnoista. Luonnollisesti läpäisemättömiä ovat peruskallioesiintymät. Useimmiten läpäisemätön pinta on ihmisten tekemää, ja se voi koostua kattojen ja teiden lisäksi jalkakäytävistä, piha-alueista, pysäköintialueista sekä tiivistetystä maaperästä. Piha-alueella läpäisemätöntä pintaa voivat olla terassit, parkkipaikat sekä ajotiet. Läpäisemätön pinta on usein asfalttia, betonia tai muuta rakennusmateriaalia. Läpäisemättömällä pinnalla tarkoitetaan tässä työssä nimenomaan vettä läpäisemätöntä pintaa.

Pysyvä virtaus

Kun virtaus ei muutu ajan suhteen, se on pysyvää. Virtaustekijät, kuten uoman poikkileikkaus ja pinnankorkeus sen sijaan voivat vaihdella (Hamill 2001). Luonnossa virtaus on kuitenkin usein ajan suhteen muuttuvaa.

Valuma ja valumakertoimet

Valumalla [l/s/km^2] tarkoitetaan yhdessä sekunnissa neliökilometriltä valuvaa vesimäärää (Mustonen 1986). Kevätylivalumalla tarkoitetaan suurinta keväällä tapahtuvaa valumaa, joka johtuu yleensä lumien sulamisesta. Valumakerroin kertoo valumaan lähtevän veden osuuden pinnalle sataneesta vedestä. Valumakerroin vaihtelee pinnan vedenläpäisevyyden ja muun laadun mukaan.

Valuma-alue

Valuma-alue tarkoittaa sitä maantieteellistä aluetta, jolta hulevedet valuvat yhteen ja samaan puroon, jokeen, järveen tai mereen. Maaston korkeimmat kohdat rajaavat valuma-alueen. (Kuntaliitto 2012)

Valunta

Valunta [mm] on se osa sadannasta, joka valuu maa-alueelta vesistöön (Mustonen 1986). Valuntaa syntyy sitä enemmän, mitä enemmän alueella on läpäisemätöntä pintaa.

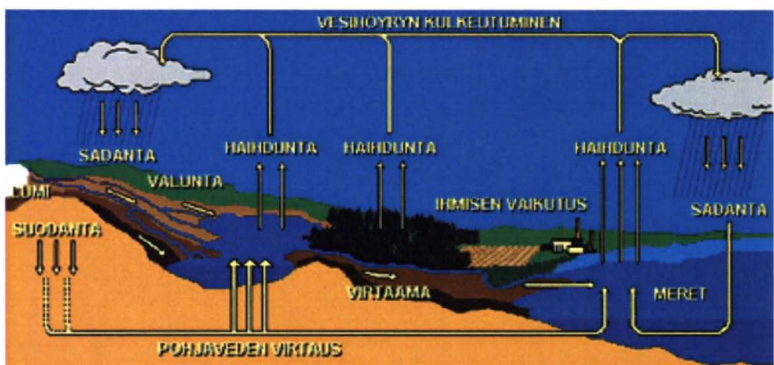
Virtaama

Virtaama [l/s] kuvaa uomassa kulkevaa vesimäärää (Mustonen 1986).

2 Aikaisempi tutkimus

2.1 Kaupunkihydrologia

Luonnollinen veden kiertokulku koostuu pääpiirteissään sadannasta, valunnasta, haihdunnasta sekä imeytymisestä (kuva 2). Luonnossa osa sadannasta valuu maan pintaa pitkin vesistöjen kautta meriin, ja osa haihtuu ilmakehään pintavesivarastoista, erilaisille pinnoille pidättyneestä vedestä sekä kasvien välityksellä maaperästä. Osa sadannasta imeytyy maaperään, ja muodostaa pohjavettä. Maaperässä vesi virtaa vesistöihin ja sieltä edelleen mereen.



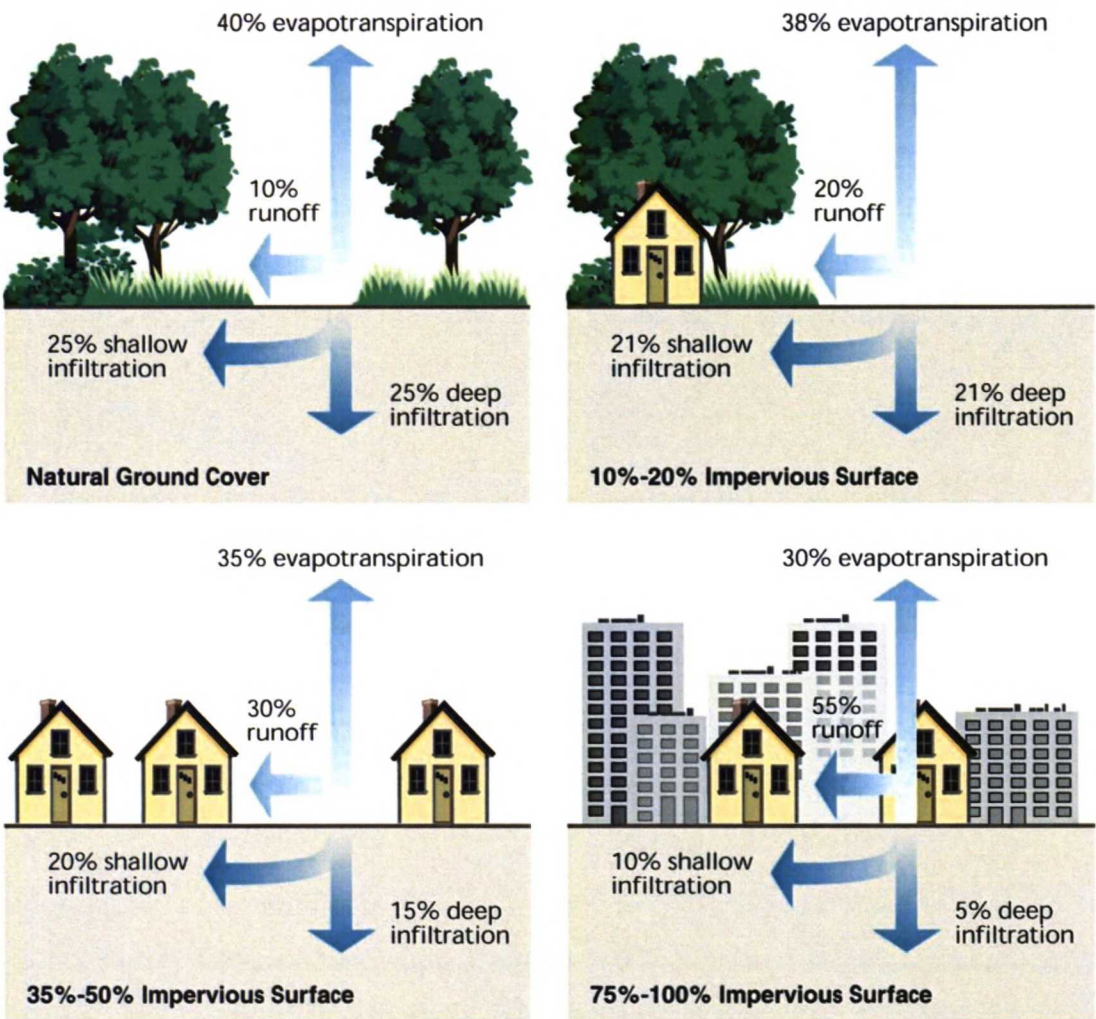
Kuva 2. Hydrologinen kierto (SYKE 2012).

Veden luontainen kiertokulku muuttuu kun rakennetaan luonnontilaiselle alueelle läpäisemätöntä pintaa sekä sadevesiviemärointi (Vantaan kaupunki 2009). Tällöin myös kasvillisuutta ja maanpintaa saatetaan poistaa sekä vettä pidättäviä painanteita tasoittaa. Maanpintaa voidaan tiivistää ja maata kuivattaa ojittamalla sekä päällystää läpäisemättömillä pinnoilla (Booth & Jackson 1997). Päällystetyillä pinnoilla ei juuri tapahdu imeytymistä ja maanpinnan muutokset myös pienentävät maan vedenvarastointikykyä. Tämä aiheuttaa merkittävää pintavalunnan lisääntymistä ja veden imeytymisen vähenemistä. Sateen sattuessa suuri osa vedestä ei imeydy ollenkaan.

Vesi johdetaan usein kaupungistuneelta alueelta suoraan vesistöihin. Tämä aiheuttaa vesistöissä tulvimista, eroosiota sekä epäpuhtauksien lisääntymistä (Vantaan kaupunki 2009). Myös pohjavedenpinta voi alentua kaupungistumisen johdosta. Tämä johtuu siitä, että hulevedet johdetaan viemäriin ja lisäksi läpäisemättömät pinnat estävät veden imeytymisen maahan lähes kokonaan.

Taajamassa kaikki hydrologisen kierron osa-alueet - sadanta, haihdunta, valunta ja imeytyminen - ovat muuttuneet. Korkeat rakennukset taajamissa vaikuttavat tuulikenttään ja konvektio voi voimistua. Haihdunta kasvien elintoiminnoista sekä niiden pinnoille pidätyneestä vedestä on kaupunkialueilla hyvin vähäistä, sillä kasvillisuutta on taajamissa vain rajoitetuilla alueilla. Päällystettyjen pintojen haihdunta on myös hyvin vähäistä, sillä vesi valuu pinnalta nopeasti pois. (Kuntaliitto 2012)

Kuvasta 3 nähdään, miten hydrologia muuttuu kaupungistumisen myötä (FISRWG 2008). Luonnontilaisissa oloissa sadannasta 90 % haihtuu ilmaan tai imeytyy maahan ja vain 10 % aiheuttaa pintavaluntaa. Kaupungistumisen myötä valunta kasvaa, ja haihdunta sekä imeytyminen vähenevät. Erittäin kaupungistuneella alueella yli 50 % sadannasta valuu maan pintaa pitkin.



Kuva 3. Lämpäisemättömän pinnan vaikutus veden kiertoon (FISRWG 2008).

2.1.1 Kaupungistumisen vaikutukset veden määrään

Veden virtausnopeus ja pintavalunnan osuus kasvaa ojittamisen, kuivatuksen, maan tiivistymisen ja läpäisemättömien pintojen kasvaessa. Kaupungistumisen vaikutuksesta kasvanut valunta aiheuttaa suurempia ja useammin toistuvia tulvia vastaanottavissa uomissa (Schueler 1994). Tämä johtaa uomien syöpymiseen, muun muassa poikkileikkauksen leventymiseen ja pohjan syventymiseen. Uoman eroosion voimistumisen johdosta kasvuston ja eliöstön elinolot uomassa heikkenevät.

Kaupungistumisen myötä uomia voidaan muuttaa, jotta ne kuljettaisivat hulevedet nopeasti pois kaupunkialueelta vesistöihin (Booth & Jackson 1997). Luonnollisia uomia usein suoritetaan, syvennetään tai reunustetaan, jotta vesi kulkee nopeammin. Tällöin myös tulva-aalto kulkee alavirtaan nopeammin eikä uoma juuri varastoi vettä.

Varsinkin pienet purot voivat taajama-alueilla tulvia helposti rankkasateen aikana. Suuret virtaamat voivat ylittää nopeasti purossa olevien pienten rumpujen vedenjohtokapasiteetit, jolloin vesi tulvii teille ja rakennetuille alueille. Kaupunkitulvien vaikutukset voivat olla fyysisiä, taloudellisia tai ympäristöllisiä. Tulvat voivat aiheuttaa sekä suoria, että epäsuoria haittoja. Nämä molemmat sisältävät sekä rahallisesti korvattavia että korvaamattomia vahinkoja, kuten rakenteiden vaurioitumista tai hengenmenetyksiä. (WMO 2008)

Kaupungistumisen suurin hydrologinen vaikutus on veden varastoitumisen väheneminen maa-ainekseen. Tämän johdosta sadetapahtuman jälkeen vesi voi valua vastaanottavaan vesistöön hyvin nopeasti, jopa vain muutamissa minuuteissa. Luonnollisissa olosuhteissa siihen voisi mennä tunteja, päiviä tai jopa viikkoja. Tämän takia virtaama muuttuu merkittävästi etenkin joen alavirrassa. (Booth et al. 2002)

Kun rakennustiheys ja siten myös läpäisemättömän pinnan ala kasvaa, valunnan kokonaismäärä suurenee, pintavalunta kasvaa, pohjavesivarastot pienenevät ja virtaamat uomissa kasvavat (Setälä et al. 2009). Schuelerin (1994) mukaan eekkerin (4047 m²) kokoiselta asfaltoidulta pysäköintialueelta tuleva valunta on 16 kertaa suurempi, kuin samankokoiselta luonnontilaiselta niityltä.

Washingtonissa Pugetin alangoilla tehdyssä tutkimuksessa (Moscrip & Montgomery 1997) seurattiin kaupungistumisen vaikutuksia uomien tulvimiseen. Kaupungistuneita valuma-alueita oli neljä, ja vertailukohtana käytettiin kahta luonnontilaista valuma-alueita. Tutkimuksen mukaan lisääntynyt läpäisemättömän pinnan määrä aiheutti suurempia virtaamia kaupungistuneilla alueilla. Valuma-alueilla, joissa kaupungistunut alue laajentui yli 14 %, kerran 10 vuodessa esiintynyt virtaama muuttui kerran 1...4 vuodessa esiintyväksi. Luonnontilaisella vertailualueella virtaamassa ei esiintynyt muutoksia.

Texasissa tutkittiin vesistön virtaaman muutoksia nopeasti kaupungistuneen San Antonion valuma-alueella (Sahoo & Smith 2009). Tulosten mukaan ylävirran puolella, jossa on enemmän läpäisemättömää pintaa, oli virtaama uomassa pienentynyt lähes kaikkina vuodenaikoina ja kaikkensuuruisilla sadetapahtumilla. Alueen kasvaneet talvisadannat vaikuttivat uoman virtaamaan selvästi enemmän valuma-alueen alapuoliskolla kuin yläpuoliskolla, sillä vesi valuu valuma-alueen kaupungistuneesta yläosasta aikaisempaa nopeammin alavirtaan.

Helsingissä arvioitiin (Tarkkala 2002) uudessa yleiskaavassa esitettyjen toimenpiteiden vaikutuksia pintavesiin ja maaperään. Vaikutusten arvioinnissa selvitettiin purojen virtaamien muutokset maankäytön muuttuessa, ja huomattiin että uusilla rakentamisalueilla hulevesiverkostoista tulee valumaan suoraan puroihin 3 % enemmän vettä kuin ennen. Ennen yleiskaavan täytäntöön panemista suoraan puroihin valuvan virtaaman osuus oli 20,2 %, ja se nousee uuden yleiskaavan toteutuessa arvoon 20,8 %. Muutos on melko pieni, ja se osoittaa, että rakentamisen vaikutukset hulevesien määrään vaihtelevat eri valuma-alueilla. Tämän johdosta vaikutuksia tulee tutkia valuma-alueittain ottaen huomioon valuma-alueen yksilölliset piirteet, kuten rakentamisen määrän, hulevesien hallintamenetelmät sekä hulevedet vastaanottavan vesistön.

2.1.2 Kaupungistumisen vaikutukset veden laatuun

Valuma-alueen maankäyttömuoto vaikuttaa pintavalunnan epäpuhtauksien määrään ja laatuun. Kaupunkirakentaminen muuttaa valuma-alueita, jolloin valunnan synty, määrä

ja valuntatyyppi voivat muuttua (Kuusisto 2002). Muutokset voivat vaikuttaa vesien kemialliseen, fysikaaliseen ja hygieeniseen laatuun. Rakentamisen vaikutuksesta myös kaupunkivesistöjen ekosysteemeissä voi tapahtua muutoksia. Hulevedet valuvat kaupungeissa yleensä läpäisemättömiä pintoja pitkin hulevesien keräysjärjestelmään ja sieltä käsittelemättöminä vesistöön.

Kaupunkialueelta huuhtoutuu hulevesien mukana epäpuhtauksia, jotka kulkeutuvat vastaanottavaan vesistöön (Vantaan kaupunki 2009). Kaupungistumisen myötä hulevesien laatu heikkenee ja myös vastaanottavien vesistöjen vedenlaatu huononee (Setälä et al. 2009). Maankäytön muutokset vaikuttavat lisäksi uomaan kulkeutuvan kiintoaineen määrään (Booth & Jackson 1997). Läpäisemättömän pinnan aiheuttama pintavalunta kuljettaa enemmän kiintoainetta kuin luonnontilainen pintavalunta sekä lisää kiintoaineen rakeisuutta.

Läpäisemättömät pinnat myös varastoivat ja heijastavat lämpöä. Kesäisin läpäisemättömän pinnan alueet voivat olla Schuelerin (1994) mukaan 10...12 Celsiusastetta lämpimämpiä, kuin niiden korvaamat niityt ja metsät. Myös puiden tarjoama varjo on läpäisemättömillä pinnoilla vähentynyt tai hävinnyt kokonaan. Tämä voi aiheuttaa hulevesien ja vastaanottavan vesistön lämpenemistä, mikä taas voi vaikuttaa veden laatuun ja ekosysteemeihin. Kaupungistuminen ulottuu usein vesistöjen rannoille asti. Kun uoman rantakasvillisuus poistetaan, kulkeutuu uomaan vähemmän puuainesta (Booth & Jackson 1997), joka vähentää virtauksen energiaa ja suojaa samalla uoman pohjaa ja reunoja eroosiolta. Rakentamisen myötä häviää uoman yläpuolella oleva kasvillisuus, joka säätelee veden lämpötilaa varjollaan ja tarjoaa varisevia lehtiä veden ravintoketjuun.

Vesistöt rakennetuilla alueilla joutuvat kokemaan kovia. Niissä voi esiintyä monenlaisia ongelmia kaupunkiympäristön vaikutuksesta; liettymistä, roskaantumista ja epäpuhtauksia, jotka valuvat rakennetulta pinnalta (Kuusisto 2002). Tulvien aikana uomissa voi esiintyä myös eroosiota. Uomia saatetaan muokata käyttötarkoitukseensa sopivammaksi suoristamalla, syventämällä tai kanavoimalla uomaa, jolloin sen biodiversiteetti voi kärsiä. Uomien suuntaaminen, kanavointi, patoaminen ja

putkittaminen tuhoavat uoman pohjaa ja siihen liittyviä elinympäristöjä (Arnold & Gibbons 1996).

Kaupungistumisen myötä patogeeneja, ravinteita, jätteitä sekä muita saasteita tuotetaan enemmän, jolloin kasvanut virtaama kuljettaa haitta-aineet suoraan vesistöihin. Vaikka läpäisemättömät pinnat eivät itse tuota haitallisia aineita, ne ovat merkittävä tekijä vesistöjä huonontavien hydrologisten muutosten aikaansaamisessa. Läpäisemättömät pinnat ovat tärkeässä roolissa haitta-aineita aiheuttavassa maankäytössä ja ne estävät luonnollisen epäpuhtauksien käsittelyn maaperässä. Ne myös toimivat tehokkaana kuljettimena haitta-aineille. (Arnold & Gibbons 1996)

Hulevesien haitta-ainepitoisuudet vaihtelevat valuma-alueen maankäytön ja liikenteen mukaan. Eniten haitta-aineita huuhtoutuu kaupan ja teollisuuden alueiden läpäisemättömiltä pinnoilta sekä teiltä, joissa on paljon moottoriajoneuvoliikennettä (Setälä et al. 2009). Kaupunkien hulevesissä on yleensä suhteellisen vähän orgaanista ainetta ja ravinteita, mutta paljon haitta-aineita. Laskeumasta, liikenteestä ja muualta tulevat saasteet kerääntyvät läpäisemättömille pinnoille (Kuusisto 2002).

Rakennettujen alueiden lumen laatu on usein heikkoa (Setälä et al. 2009). Teiden suolaus ja hiekoittaminen, liikenteen päästöt, kaupungin ilmanlaatu sekä eläinten jätökset huonontavat lumen laatua. Ilmansaasteet tarttuvat helposti suurikokoisiin lumihiihtaleisiin, jotka leijailevat hitaasti. Lumi kerää ja varastoi epäpuhtauksia talven ajan, kunnes se sulaa keväällä yleensä muutamassa viikossa. Tämän johdosta lumen sulamisen aikainen valunta sisältää huomattavasti enemmän epäpuhtauksia kuin normaali vesisateesta aiheutuva valunta. Myös kiintoainemäärä kasvaa usein talvihiekoituksen vaikutuksesta (Kuusisto 2002).

Kuusisto (2002) teki tutkimuksen, jossa hän vertailee eri valuma-alueilla sijaitsevia vesistöjä toisiinsa. Hän tutkii kaupunkirakentamisen vaikutusta pieniin valuma-alueisiin ja vesistöihin eri puolella Suomea. Kaikilla hänen tutkimillaan valuma-alueilla kiintoainekuormitusta syntyi eniten teollisuus- ja liikennealueilta. Metsä- ja suoalueilla syntyvä kiintoainekuorma taas on hyvin vähäinen. Kuusisto (2002) huomauttaa, että vesistöihin huuhtoutuva kiintoainekuorma on vähentynyt peltovaltaisilla alueilla, joihin

on rakennettu kaupunkialuetta. Hänen mukaansa kiintoaineskuorma näyttää kasvavan vain silloin, kun luonnontilainen alue korvataan kaupunkialueella.

2.1.3 Kaupungistumisasteen ja uoman tilan yhteys

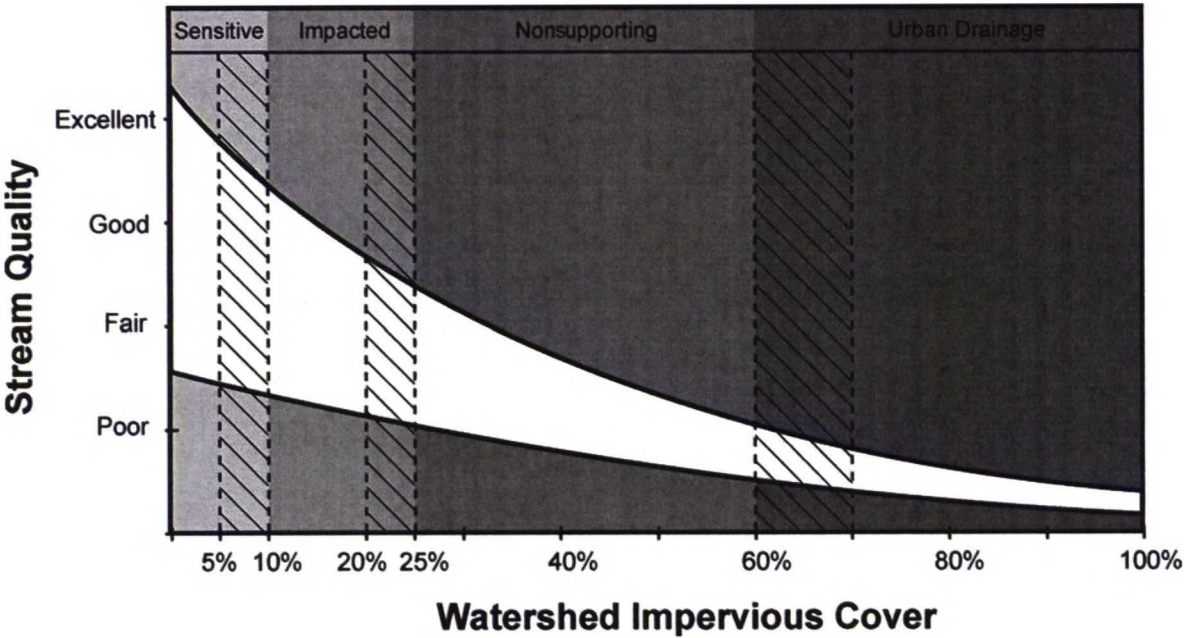
Schuelerin (1994) mukaan kaupunkiuomien tilat voidaan luokitella kolmeen eri kategoriaan niiden valuma-alueella olevan läpäisemättömän pinnan osuuden mukaan (kuva 4). Uoma on luonnontilainen, jos läpäisemätöntä pintaa on 1...10 % valuma-alueesta. Tällöin uoma pystyy säilyttämään hydrologiset toimintonsa, ja vesieläimistön sekä -kasviston monimuotoisuus on hyvä. Vastaavasti uoma on muuntuva, jos läpäisemätöntä pintaa on 11...25 %, ja tällöin uomassa näkyy selkeitä merkkejä tilan heikkenemisestä. Uoma on taantuva kun läpäisemätöntä pintaa on 26...100 % valuma-alueesta. Tällöin sen hydrologia, vakavuus, elinympäristö, vedenlaatu ja biologinen monimuotoisuus ovat heikentyneet.

| TAAJAMAPUROJEN LUOKITTELU/ Puron ja sen valuma-alueen ominaisuuksia sekä maankäytön ohjaus valuma-alueella | LUONNONTILAINEN PURO 0-10% vettä läpäisemätöntä | MUUNTUNUT PURO 11-25% vettä läpäisemätöntä | TAANTUNUT PURO 26-100% vettä läpäisemätöntä |
|--|--|---|--|
| Vedenlaatu | Hyvä | Kohtalainen | Kohtalainen – huono |
| Uoman vakavuus | Vakaa | Epävakaa | Erittäin epävakaa |
| Puron biologinen monimuotoisuus | Erinomainen - hyvä | Hyvä – kohtalainen | Vähäinen |
| Suojavyöhykkeet | Laajat, yhtenäisen suojavyöhykkeet | Mahdollisimman hyvät ekologiset käytävät | Viherkäytävät |
| Puron suojelun tavoitteet | Vesistön biologisen monimuotoisuuden sekä uoman vakavuuden säilyttäminen | Puron tärkeimpien, luontaisten ominaispiirteiden säilyttäminen | Alapuoliseen vesistön kuormituksen vähentäminen |
| Hulevesien hallinta pohjautuu | Väillisiin ympäristövaikutuksiin | Väittömään puhdistusohjaukseen | Väittömään puhdistusohjaukseen |
| Uudet rakennushankkeet | Pyritään ohjaamaan muualle | Ei sallita | Sallitaan |
| Maankäytön ohjaustapa | Vettä läpäisemättömän pinnan rajoittaminen valuma-alueella | Vettä läpäisemättömän pinnan rajoittaminen tonteilla | Taajamarakenteen tiivistäminen ja täydennysrakentaminen |
| Alueen tilan seuranta | Vettä läpäisemättömän pinnan määrän sekä alueen biologinen tilan seuranta | Halta-ainesten seuranta | Halta-ainesten seuranta |
| Vedenlaadun seuranta | Kiintoaineen kertyminen ja lämpötila | Ravinne- ja metallikuorma | Ulosteperäiset bakteerit |

Kuva 4. Salmisen (2010) esittämä ja Suomen olosuhteisiin muokkaama Schuelerin (1994) luokittelu kaupunkiuomille.

Schueler et al. (2009) kehitti edelleen vuonna 1994 julkaisemaansa mallia läpäisemättömän pinnan ja uoman tilan suhteesta. Uudessa mallissa (kuva 5) on mukana neljäs kategoria uomien tilan luokitteluun, jossa yli 60 % läpäisemätöntä pintaa valuma-alueesta tarkoittaa sitä, että uoma on muuttunut kaupunkiviemäriksi. Uoman tila on hyvin heikko ja se toimii lähinnä tulvavesien välittäjänä. Usein nämä uomat lopulta

putkitetaan. Valkoinen alue kuvassa 5 kuvaa uoman laadun vaihteluväliä kullakin läpäisemättömän pinnan määrällä. Viivoitetut alueet kuvaavat siirtymävyöhykettä, kun uoman tila vaihtuu esimerkiksi luonnontilaisesta muuntuvaksi. Kylmäojan itäisen haaran valuma-alueella on vuonna 2012 läpäisemättöntä pintaa 9 %, joten uoma sijoittuu luokittelussa luonnontilaisen puron siirtymävyöhykkeeseen. Luokittelun mukaan itähaaran laatu on hyvä tai tyydyttävä.



Kuva 5. Schuelerin et al. (2009) kehittämä valuma-alueen läpäisemättömän pinnan osuutta ja uoman tilan suhdetta kuvaava malli. Valkoinen alue kuvaa uoman laadun vaihteluväliä kullakin läpäisemättömän pinnan määrällä. Viivoitetut alueet kuvaavat uoman tilan vaihtumisen siirtymävyöhykettä.

Arnold ja Gibbonsin (1996) mukaan läpäisemättömän pinnan määrää voidaan pitää ympäristön luonnonmukaisuuden mittarina. Sitä on helppo mitata, ja se on suoraan verrannollinen kaupungistumisen vaikutuksiin vesistöihin. Tämän takia he suosittelevat, että läpäisemättömän pinnan määrää käytetään kehyksenä kaupunkisuunnittelussa. Heidän mukaansa vesistön tilan heikkeneminen on vääjäämätöntä, kun valuma-alueella on läpäisemättöntä pintaa 20...30 %.

McBride ja Boothin (2005) tutkimuksen mukaan uomien fysikaaliset olot vaihtelevat eniten kohtalaisesti kaupungistuneilla alueilla, kun taas erittäin kaupungistuneilla tai täysin metsäisillä valuma-alueilla uoman fysikaalinen tila on vakiintunut. Kohtalaisesti kaupungistuneen uoman heterogeenisuus johtuu osin kaupungistumisesta uoman

lähialueella ja osin rantavyöhykkeen koskemattomuudesta. Lähialueen kaupungistuminen, tieristeykset ja rantavyöhykkeen metsäpinnan väheneminen näkyvät selvemmin uomissa, joiden valuma-alueet eivät ole täysin kaupungistuneita.

Uoman fysikaalisiin oloihin vaikuttavat sekä koko valuma-alueen kaupungistuminen, että uoman ympärillä olevan valuma-alueen kaupungistuminen. Uoman fysikaaliset olot voivat parantua alavirtaan mentäessä, jos rantavyöhykkeellä on tarpeeksi metsäpintaa ja siellä ei ole vesistöä ylittäviä teitä. Tieristeykset ovat uomien suuria häiriötekijöitä, sillä ne toimivat pistelähteenä hulevesille sekä häiritsevät rantavyöhykettä. Muuntuneen uoman fysikaaliset olot voivat parantua jo siellä, missä uoma kulkee vain 100 m koskemattoman metsäisen ranta-alueen läpi. Jos rantavyöhykkeestä vähintään 35 % on metsäpintaa, fysikaaliset olot paranevat. (McBride & Booth 2005)

Laajan metsäalueen muuttaminen maatalousalueeksi tai ruohikoksi heikentää vesistöjen tilaa, vaikka valuma-alueelle ei juuri läpäisemätöntä pintaa tulisikaan. Tämän johdosta haja-asutuksen kehityksellä on ollut suuri vaikutus vesistöjen tilan heikkenemiseen. Metsän hävittäminen kasvattaa valuntaa, ja siten muuttaa uoman virtaamaa sekä sen fysikaalisia oloja. Ylivirtaama kasvaa, eroosio voimistuu ja elinympäristö pelkistyy. Haja-asutusalueilla maanomistajat itse usein muuttavat uomaa, mikä myös heikentää sen tilaa. (Booth et al. 2002)

Valuma-alueen ja etenkin uoman rantavyöhykkeen maankäytön muutokset, sekä uomaan tehdyt muutokset johtavat usein uoman biologisen tilan heikkenemiseen. Booth ja Jackson (1997) tutkivat maankäytön muutosten vaikutusta uoman virtaamaan, kokoon ja rantavyöhykkeeseen useilla valuma-alueilla Washingtonissa Pugetin alangoilla. Uomat luokiteltiin erinomaiseen, hyvään tai huonoon kuntoon niiden eroosion, karkeuden ja kalapopulaation mukaan. Tulosten mukaan uomat muuttuvat erinomaisista ja hyväkuntoisista huonokuntoisiksi, kun niiden valuma-alueella on 8...10 % tehokasta läpäisemätöntä pintaa. Uoma on epävaka, kun sen valuma-alueella pinta-alasta on yli 10 % tehokasta läpäisemätöntä pintaa. Tehokas läpäisemätön pinta tarkoittaa tässä sitä, että hulevedet valuvat tältä pinnalta suoraan hulevesijärjestelmään tai vesistöön. Epävakaalla puolestaan tarkoitetaan tässä uomaa, jonka reunat ovat paljaita ja näyttävät merkkejä hajoamisesta sekä uoman leventymisestä. Uomat ovat tulleet epävakaiksi

valuma-alueilla, joissa aiemmin kerran 10 vuodessa esiintyvä tulva esiintyy nykyään kahden vuoden välein tai useammin.

2.2 Ilmastonmuutos

2.2.1 Tausta

Ilmaston energiatasapainoon vaikuttavat muutokset auringonsäteilyssä, maanpinnan ominaisuuksissa sekä ilmakehän kasvihuonekaasujen ja aerosolien määrässä (Solomon et al. 2007). Nämä muutokset voivat olla luonnollisia tai ihmisten aikaansaamia.

Hiilidioksidi on tärkein ihmisten tuottama kasvihuonekaasu (Solomon et al. 2007). Suurin hiilidioksidin lähde on teollistumisaikakauden alusta lähtien ollut fossiiliset polttoaineet, mutta myös maankäytön muutos on merkittävä hiilidioksidin lähde. Ennen teollistumisaikakautta hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä oli 280 ppm ja vuonna 2005 vastaava luku oli 379 ppm. Tämä ylittää selvästi ilmakehän luonnollisen hiilidioksidipitoisuuden, joka viimeisten 650 000 vuoden aikana on ollut 180...300 ppm jäädyntien perusteella määritettynä.

Ihmisten aiheuttaman ilmastonmuutoksen uskotaan johtuvan siitä, että maan pinnan lähettämää lämpösäteilyä pääsee vähemmän avaruuteen ilmakehän kasvaneen kasvihuonekaasupitoisuuden takia (Bergström et al. 2011). Tällöin ilmasto lämpenee.

Ihmistoiminta tuottaa ilmakehään myös pienhiukkasia, jotka hidastavat ilmaston lämpenemistä (Solomon et al. 2007). Pienhiukkaset ovat kuitenkin lyhytikäisempiä kuin hiilidioksidikaasu, joten niiden ilmaston lämpenemistä hidastava vaikutus vähenee ajan myötä. Päästöjen kehitys riippuu monesta yksittäisestä asiasta, kuten väestönkasvusta, elintasokehityksestä sekä energiantuotantotavoista.

Ajanjakson 1995-2006 vuosista 11 on ollut 12 lämpimimmän vuoden joukossa vuodesta 1850 alkaneen sään tallentamishistorian aikana. Vuosien 1950-1999 lämpötilat olivat hyvin todennäköisesti lämpimämpiä kuin minkään muun 50 vuoden ajanjakson lämpötilat viimeisten 500 vuoden aikana. On hyvin todennäköistä, että viimeisten 50 vuoden aikana tapahtuneet muutokset ilmastossa eivät johdu ainoastaan luonnollisista

syistä. Lisäksi ilmakehän sisältämä vesihöyryn määrä on kasvanut vuodesta 1980, mikä on yhdenmukaista sen kanssa, että lämpimämpi ilma voi sisältää enemmän vesihöyryä. Sademäärät ovat lisääntyneet merkittävästi viimeisen sadan vuoden aikana Pohjois-Euroopassa. Sateisuuden lisääntyminen ei kuitenkaan ole tasaista, vaan vaihtelee alueittain. Myös rankkasateiden yleisyys on kasvanut useimmilla maa-alueilla. (Solomon et al. 2007)

Kuluvan vuosisadan aikana ilmaston arvioidaan lämpenevän eniten pohjoisilla leveysasteilla. Ilmasto lämpenee hyvin todennäköisesti suurimmassa osassa Pohjois-Eurooppaa, ja etenkin talvisin. On hyvin todennäköistä, että rankkasateet tulevat edelleen yleistymään. Rankkasateet voivat myös voimistua alueilla, joissa keskimääräisen sadannan ennustetaan laskevan. Vuosittainen sadanta tulee hyvin todennäköisesti kasvamaan voimakkaasti suurimmassa osassa Pohjois-Eurooppaa. (Solomon et al. 2007)

Ilmastonmuutosta ei voi ennustaa tarkasti, sillä siihen vaikuttaa moni yksittäinen asia (Bergström et al. 2011). On hyvin vaikea arvioida, miten kasvihuonekaasupäästöt tulevat kehittymään tulevaisuudessa ja minkälaisina pitoisuuksina kasvihuonekaasuja ilmakehässä esiintyy. Mallit ja skenaariot eivät välttämättä vastaa todellisuutta, sillä päästöjen ennustaminen ja todellisuuden mukaisten mallien rakentaminen on vaikeaa. On myös epävarmaa, miten nämä muutokset vaikuttavat ilmastoon. Lisäksi ilmaston luonteeseen kuuluu luonnollinen vaihtelu, mikä tekee varsinkin lyhyiden ajanjaksojen ennustamisesta hankalaa. Ilmastonmuutos ei välttämättä etene tasaisesti, vaan muutokset voivat vaihdella paikallisesti. Muutosten hitaus tekee ennusteista epävarmoja ja varsinkin yksittäisten vuosien ennusteet ovat epätarkkoja (Aaltonen et al. 2008).

2.2.2 Ilmastonmuutos Suomessa

Verrattuna vuosiin 1980-1999 lämpötilan Suomessa odotetaan kasvavan kuluvan vuosisadan aikana 3,5...4 Celsius-astetta. Talvella lämpötilan ennustetaan kasvavan 5...7 astetta ja kesällä 2,5...3,5 astetta. Vuosittainen sadanta kasvaa Suomessa vuoteen 2099 mennessä arviolta 15...20 %. Talvisadanta kasvanee 20...30 % ja kesäsadanta 10...15 %. (Solomon et al. 2007).

Arvioiden mukaan ilmasto tulisi Suomessa lämpenemään talvella enemmän kuin kesällä. Terminen talvi, joka tarkoittaa päivän keskilämpötilan olevan pakkasen puolella, lyhenisi kun taas kesä pitenisi. Kesäisin voi esiintyä kuumia päiviä useammin ja kuumat jaksot voivat pidentyä. Sademäärät tulisivat lisääntymään ja runsassateisia päiviä olisi useammin. Suhteellisesti sademäärä lisääntyisi enemmän Pohjois-Suomessa, kuin Etelä-Suomessa. Etelässä poutajaksot voivat jopa pidentyä, vaikka sademäärä kasvaisikin. Etelä-Suomessa lumipeite vähenisi, kun taas Lapissa voi sataa keskitalvisin lunta enemmän kuin nykyään. Talvet muuttuisivat pilvisemmiksi ja tuuli voi syyskuun ja huhtikuun välillä voimistua. (Bergström et al. 2011)

Ilmastonmuutoksen odotetaan Suomessa vaikuttavan sademäärään tasaisen lisäävästi vuoteen 2100 asti (Honkanen et al. 2011). Rankkasateet voimistuisivat etenkin kesäisin, kun ilmassa voi olla paljon kosteutta ilman korkeamman lämpötilan takia. Kesäsateet voivat aluksi vähentyä, kun taas talvella sateet lisääntyisivät. (Aaltonen et al. 2008)

2.2.3 Ilmastonmuutoksen vaikutukset veden määrään

Jos ilmastonmuutoksen myötä ilmakehä lämpenee, se voi vastaanottaa enemmän vesihöyryä. Suurempi vesihöyryn määrä voi aiheuttaa sateiden määrän suurenemista sekä niiden rankkuuden voimistumista, ja nämä vaikutukset heijastuvat suoraan myös hulevesiin. Hulevesijärjestelmät eivät välttämättä tällöin vastaa niille asetettuihin tarpeisiin, vaan käyvät mitoitukseltaan liian pieniksi. (Aaltonen et al. 2008)

Ilmastonmuutoksen ja maankäytön yhteisvaikutuksia hydrologiaan ja etenkin hulevesiin on vaikea arvioida tarkasti, varsinkin pienessä mittakaavassa. Ilmastonmuutoksen vaikutusta hulevesiin voisi arvioida luotettavasti, jos ilmastomalleilla voitaisiin ennustaa pienien alueiden sateet minuuttiaikataululla. Tällä hetkellä ilmastonmuutosta ennustetaan laajassa mittakaavassa vuosittaisella tai päivittäisellä tasolla, ja nämäkin ennusteet eroavat hyvin paljon toisistaan. Näiden ennusteiden soveltaminen paikallisen tason hulevesien ennustamiseen on siis hyvin epävarmaa. (Setälä et al. 2009)

Ruotsissa on ennustettu sateiden suurimman intensiteetin kasvavan 20...60 % vuoteen 2100 mennessä Kalmarin kaupungissa (Olsson et al. 2009). Tutkimuksessa arvioitiin,

että kaupungin hulevesitulvien määrä kasvaa tämän johdosta 20...45 % tällä vuosisadalla.

Setälän et al. (2009) mukaan Etelä-Suomen talvien arvioidaan olevan ilmastonmuutoksen myötä tulevaisuudessa leudompia, minkä ansiosta suuri osa talven sateista tulisi vetenä eikä lumena. Lumien sulaminen talvisin sekä talvien vesisateet tulevat yleistymään, mikä tarkoittaa talviaikaisen valunnan huomattavaa kasvamista (Setälä et al. 2009). Talvitulvien sekä voimistuvien rankkasateiden ansiosta tulvat tulevat yleistymään varsinkin pienemmissä jokien sivuhaaroissa sekä purouomissa talvisin ja kesäisin (Honkanen et al. 2011). Lumen sulamisen aiheuttamat kevättulvat voivat vastaavasti pienentyä ilmaston lämmitessä (Setälä et al. 2009).

Tutkimuksen mukaan Etelä-Suomessa kevättulvat pienenevät merkittävästi lämpimämpien talvien johdosta (Veijalainen et al. 2012). Sen sijaan syksyn sateet kasvavat ja talvisin entistä suurempi osa sadannasta tulee vetenä. Etelässä lumi voi sulaa jo talven aikana. Muutosten johdosta jokien ja purojen virtaamat kasvavat loppusyksyllä ja talvella. Muutokset tulevat tutkimuksen mukaan näkymään Etelä-Suomessa jo lähivuosikymmeninä.

Sadannan kasvaminen vaikuttaa valuntaan sitä lisäävästi. Jos sadanta kasvaisi 20 %, muuttuisi keskimäärin 3 vuoden välein toistuva ilmastotapahtuma noin 2 vuoden välein toistuvaksi. Samoin 5, 10 ja 25 vuoden välein toistuvat ilmastotapahtumat muuttuisivat vastaavasti 3, 5 ja 10 vuoden välein toistuviksi. (Aaltonen et al. 2008)

Tulvat tulevat olemaan suurimmillaan vuoteen 2070 mennessä, jonka jälkeen ne laskevat (HSY 2012). Silloin ilmasto on lämmennyt niin paljon, että sadannasta tulee entistä pienempi osuus lumena, mikä vähentää myös sulamisvesistä aiheutuvaa tulvimista. Kevään maksimivirtaama pienenee ja virtaamat syksyllä sekä talvella kasvavat.

Lehner et al. (2006) arvioivat WaterGAP-mallilla ilmastomuutoksen vaikutuksia tulviin ja kuivuuteen Euroopassa. Mallissa otettiin huomioon sekä ilmastonmuutos, että veden lisääntyvä käyttö. Heidän mukaansa Pohjois-Euroopassa tulvat tulevat todennäköisesti

yleistymään. Suomessa kerran 100 vuodessa esiintyvä tulva tulee mallin mukaan vuoteen 2070 mennessä yleistymään. Etelä-Euroopassa taas kerran 100 vuodessa esiintyvä kuivuus tulee yleistymään. Suomessa ja muualla Pohjois-Euroopassa kerran sadassa vuodessa esiintyvä kuivuus tulee harvinaistumaan. Lehner et al. (2006) huomauttavat, että tulevaisuudessa vesienhallintastrategiassa tulee ottaa paremmin huomioon veden kasvavat äärivaihtelut.

Samankaltaisia tutkimustuloksia kuin Lehner et al. (2006) saivat, on saatu myös Tanskassa, jossa tutkittiin alueellisen ilmastomuutoksen vaikutuksia taajamien viemäriverkostoihin vuosille 2071-2100 (Grum et al. 2006). Tulosten mukaan äärisadantatapahtumat tulevat yleistymään ilmastomuutoksen myötä. Tämä aiheuttaa tulvimista. Tulosten mukaan myös ääri-intensiteetin tuntisadannat tulevat olemaan alueella kaksi kertaa yleisempiä, kuin nykyään.

Tanskassa on tutkittu myös ilmastomuutoksen vaikutusta jokien virtaamaan (Thodsen 2007). Vaikutuksia arvioitiin vuosille 2071-2100 ja vertailujaksona olivat vuodet 1961-1990. Ennustettu ilmastomuutos vaikuttaa Tanskassa siten, että sadanta kasvaa lokakuusta maaliskuuhun ja vähenee huhtikuusta syyskuuhun, paitsi toukokuussa. Kuukausittainen keskivirtaama kasvaa joulukuusta elokuuhun ja vähenee syys- ja lokakuussa. Tulosten mukaan jokien vuosittainen keskivirtaama kasvaa tulosten mukaan keskimäärin 12 %. Myös äärimmäisen suuret virtaamat kasvavat ja pienet virtaamat kutistuvat. Pakkaspäivät voivat vähentyä jopa neljännekseen vertailujaksosta, minkä johdosta sulamisvesien aiheuttamat tulvat vähenevät. Kerran sadassa vuodessa tapahtuva tulva kasvaa keskimäärin 11 %.

Samaniego ja Bardossy (2006) tutkivat ilmastomuutoksen ja maankäytön muutoksen yhteisvaikutuksia Saksassa sijaitsevaan 126,3 km² kokoiseen valuma-alueeseen. Pahimman tapauksen skenaarion mukaan talven virtaama kasvaisi 6,9 % joka vuosikymmenyksellä ja kesän virtaama yleisesti vähenisi. Tämä tarkoittaisi sitä, että vuoden 2025 talven keskimääräinen virtaama olisi 17...44 % suurempi kuin vertausjaksona 1961-1990. Tässä skenaariossa kaupungistuminen on nopeaa ja lämpötila nousee jatkuvasti ilmastomuutoksen takia. Pienimmän muutoksen skenaariossa talven keskimääräinen virtaama kasvaisi 7...34 %. Suurten virtaamien

yleisyys kasvaa talvisin ja vastaavasti laskee kesäisin. Suurten virtaamien kesto kesäisin lyhenee, koska lämpötilat nousevat. Vastaavasti talvien suuret virtaamat tulevat mallin mukaan kestäämään pidempään.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia sadantaan ja hulevesiin on tutkittu Washingtonin Puget Soundin alueella (Rosenberg et al. 2010). Tutkimuksen mukaan sadannan vuosittaiset vuorokausimaksimit ovat kasvaneet viimeisen 50 vuoden aikana. Rankkasateet tulevat tutkimuksen mukaan voimistumaan alueella seuraavan 50 vuoden aikana. Virtaamapiikit tulevat tulosten mukaan kasvamaan, mutta muutoksen suuruus vaihtelee hyvin paljon käytetystä mallista riippuen. Tulokset eivät siis ole tarpeeksi luotettavia käytettäväksi insinöörisuunnittelun perustana. On kuitenkin mahdollista, että nykyiset hulevesijärjestelmät eivät ole riittäviä tulevaisuuden sateille.

Hamdi et al. (2010) tutkivat maankäytön muutoksista vuosina 1960-1990 aiheutuneita sekä maankäytön muutoksista ja ilmastonmuutoksesta tulevaisuudessa aiheutuvia vaikutuksia pintavaluntaan Brysselin pääkaupunkialueella. Ilmastonmuutosta ennustettiin vuosille 2071-2100 ja sitä verrattiin ilmastotietoon ajanjaksolta 1961-1990. Tulosten mukaan pintavalunnassa, ylivirtaamassa ja tulvatapahtumissa näkyi muutoksia, kun läpäisemättömän pinnan määrä ylitti 35 % osuuden koko pinta-alasta. Aina, kun läpäisemättömän pinnan osuus kasvoi 10 %, ylivirtaama suureni 32 %, vuosittainen kumulatiivinen valunta kasvoi 40 % ja tulvia esiintyi 2,25 kertaa yleisemmin. Suhteellisesti valunta on kasvanut kaupungistumisen vaikutuksesta eniten kesäisin. Ilmastonmuutoksen aiheuttama kasvanut sadanta nostaa ylivirtaamaa 44 % ja vuosittaista kumulatiivista valuntaa 39 %.

Edellä mainittujen tutkimusten perusteella Euroopan pohjoispuolella äärisadantatapahtumat tulevat yleistymään, ja myös äärivirtaamat voimistuvat. Talven virtaamat kasvavat ja tulvat yleistyvät. Kesän virtaamat taas pienenevät, vaikka kesän sateiden rankkuus voimistuu. Samoin kevättulvat pienentyvät, kun ilmaston lämmetessä yhä suurempi osa talvisadannasta tulee vetenä. Muuttuvat olosuhteet luovat tarpeen tutkia vesistöjen tulvaherkkyyttä, jotta muutokset osataan ottaa huomioon hulevesien hallinnassa.

2.2.4 Ilmastonmuutoksen vaikutukset veden laatuun

Ilmastonmuutos voi vaikuttaa monella tavalla vesistöjen veden laatuun. Lisääntyvä sadanta ja rankkasateet vievät hulevesien mukana vesistöihin enemmän ravinteita ja epäpuhtauksia. Rankkasateet voivat aiheuttaa jätevesien ylivuotoja, mikä huonontaa hulevesiä vastaanottavien vesistöjen laatua. Lisäksi ilman ja siten myös veden lämpeneminen voi heikentää veden laatua. (HSY 2012)

Jos lämpötila ja sademäärät kasvavat Suomessa, voivat ne saada aikaan muutoksia myös valuma-alueissa ja vesistöissä. Kasvillisuus ja maaperä valuma-alueella ja vesistössä voivat muuttua ilmastonmuutoksen myötä, mikä vaikuttaa valuvan veden määrään ja laatuun. Ravinteiden kierto ja huuhtoutuminen vesistöön voivat kokea muutoksia ja vesistöjen pintalämpötilat voivat nousta. Monet pintavesiongelmat voivat johtua elävän maaperän puutteesta. Vaikutusten alaisena on siis koko vesiekosysteemi. Ilmastonmuutoksen vaikutus hulevesien laatuun näkyy erityisesti alueilla, joissa on paljon läpäisemätöntä pintaa. (Bergström et al. 2011)

2.2.5 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen

Marttilan et al. (2005) mukaan Suomessa tulisi ottaa ilmastonmuutokseen sopeutuminen osaksi valtionhallinnon toimialojen suunnittelua, toimeenpanoa ja kehittämistä. Suomessa tulisi varautua ääri-ilmiöihin ja ottaa ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointi osaksi pitkäkestoisten investointien suunnittelua.

Hulevesi- ja viemäriverkoston mitoitus ei ole säädetty tarkasti Suomen lainsäädännössä, vaan mitoituksen perustana käytetään mitoitusadetta (Kuntaliitto 2012). Nykyiset mitoitusateet voivat kuitenkin vanhentua kuluvan vuosisadan aikana ilmastonmuutoksen myötä.

Ekosysteemipalveluilla tulee olemaan haasteita sopeutua lisääntyvään valuntaan, eroosioon ja ravinnekuormitukseen. Niihin vaikuttaa ilmastonmuutoksen lisäksi maankäytön muutokset, ja näiden kahden vaikutuksia on hankala erottaa toisistaan. Ilmaston lämpenemistä yritetään usein hillitä tiivistämällä yhdyskuntarakennetta, jolloin työmatkat lyhenevät, palvelut ovat lähempänä ja joukkoliikenneverkoston kehittäminen

on kannattavampaa. Näin yksityisautoilun tarve vähenee ja hiilidioksidipäästöt pienentyvät. Tämä johtaa alueellisesti suurin määrin läpäisemätöntä pintaa, jolloin alueen hydrologia ja ekosysteemipalvelut häiriintyvät (Setälä et al. 2009). Tiivistä rakennetussa ympäristössä myös kasvillisuus vähenee (Bergström et al. 2011). Tämä ei ole ekologisesti kestävä. Kaupungistumisen yleistyessä tulisikin vertailla tiheän asutuksen hyötyjä sen aiheuttamiin riskeihin rankkasateiden ja suuren valunnan aikana.

Erilaisella kaupunkisuunnittelulla voitaisiin saavuttaa sekä korkea väestötiheys, että enemmän vettä läpäisevää pintaa. Kaupunkia voisi tiivistää leveyssuunnan sijaan ylös- ja alaspäin. Näin säästetään tilaa vettä läpäisevälle pinnalle. Ilmastonmuutokseen sopeutumisiksi tulisi osata ajatella ympäristöä kokonaisuutena, eikä korostaa yhtä sopeutumiskeinoa, sillä yksi sopeutumistoimi voi huonontaa tilannetta toisella osalla alueella. (Bergström et al. 2011)

Hulevesijärjestelmien muokkaaminen suuremmille sademäärille voi olla mahdotonta tiiviisti rakennetulla alueella (Setälä et al. 2009), ja siksi suositellaankin vaihtoehtoisia menetelmiä, kuten imeyttämistä ja maahan varastointia. Vanhojen hulevesijärjestelmien lisäksi on suositeltavaa ottaa käyttöön luonnonmukaisia hulevesien hallintamenetelmiä ilmastonmuutokseen sopeutumisiksi (Aaltonen et al. 2008). Tämä olisi nopeampi ja mahdollisesti myös kustannustehokkaampi tapa vastata tulevaisuuden tarpeisiin kuin vanhojen hulevesijärjestelmien uudistaminen tai tehostaminen.

Pääkaupunkiseudulla on tarpeen varautua sademäärän lisääntymiseen, rankkasateisiin sekä hulevesi- ja vesistötulviin. Haavoittuvia alueita pääkaupunkiseudulla ovat muun muassa vesistöalueet, hulevesitulville alttiit alueet sekä viheralueet. Puistot, puut ja viheralueet viilentävät kaupunkialueita ja edistävät kaupunkiympäristön sopeutumista ilmastonmuutokseen. Alueiden merkitys on siis huomattava. (HSY 2012)

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen suositellaan otettavaksi keskeiseksi lähtökohdaksi yhdyskuntien suunnittelussa sekä rakentamisen ohjauksessa (HSY 2012). Suositusten mukaan suunnittelijoille tulee tarjota enemmän koulutusta ilmastosta ja pääkaupunkiseudulle tulee tehdä yhteinen maankäytön tavoiteohjelma, jonka perustana ovat ilmastonmuutoksen riskit. Maankäytön suunnittelussa tulee varautua lisääntyviin

tulviin, sateisiin sekä rankkasateisiin. Lisäksi pääkaupunkiseudun tulee laatia yhteinen hulevesien hallinnan suunnitelma sekä määräykset hulevesien imeyttämiseen ja johtamiseen. Tulvauhkien riskit suositellaan selvitettävän valuma-alueittain ja monialaisesti. Hulevesien hallinta tulee pohtia valuma-alueen tasolla, jotta ylä- ja alajuoksun hallintatoimet ovat keskenään tasapainossa eivätkä aiheuta toisilleen haittaa. Samoin Kylmäojan itähaaralla tulvauhkien riskit tulee selvittää, jotta ne osataan ottaa huomioon valuma-alueen maankäytössä ja hulevesien hallinnassa.

2.3 Menetelmiä uomien suojeeluun ja hulevesien hallintaan

2.3.1 Uoman suojelemismenetelmiä kaupungistumisen vaikutuksilta

EU:n vesipolitiikan puitedirektiivi vaatii vesistöjen hyvän kemiallisen ja ekologisen tilan saavuttamista (Parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY). Valuma-alueen kehitys vaikuttaa hyvin paljon uoman fysikaalisiin ja biologisiin oloihin. Uomien suojelemiseksi maankäyttöä tulisikin suunnitella valuma-alueelta lähtien. Uoman lähialueen maanpinta on hyvin tärkeä uoman fysikaalisille oloille, joten tämä osa valuma-alueesta on tärkeä suunnittelussa ja sääntelyssä. Heikentyneitä kaupunkiuomia voi kunnostaa, mutta myös puroon tulevat hulevedet tarvitsevat käsittelyä. Vain siten puron tila voi säilyä hyvänä. Uoman fysikaalisten olojen paraneminen on mahdollista kohtalaisesti kaupungistuneella alueella, jos rantavyöhykkeelle voi istuttaa metsää sekä rummut voidaan poistaa osasta uomaa. (McBride & Booth 2005)

Puut pidättävät hetkellisesti osan sadannasta lehdillä ja oksillaan, ennen kuin vesi kulkeutuu maahan tai haihtuu ilmaan. Sitä osaa sadannasta, joka pidättyy kasvien pinnoille ja haihtuu sieltä ilmaan, kutsutaan interseptioksi. Metsässä interseptiota tapahtuu paljon tehokkaammin, kuin yksittäisissä puissa. Interseption lisäksi kasvusto hidastaa veden tippumista maahan. Tämä, sekä maahan varisseet lehdet vähentävät eroosiota. Hulevedet siis sekä hidastuvat, että niiden määrä vähenee metsässä. Puiden juuret, varisseet lehdet sekä kasvillisuus voivat vähentää hulevesien haitta-aineita, sedimenttiä sekä ravinteita. Uomien ja kosteikkojen lähellä oleva metsäpinta voi myös laskea veden lämpötilaa, jolloin veden happipitoisuus kasvaa. (Seitz & Escobedo 2008)

Luonnontilaisten uomien tilan säilyttämiseksi valuma-alueella tulisi rajoittaa läpäisemätöntä pintaa ja sijoittaa valuma-alueelle suojavyöhykkeitä sekä hallita hulevesiä. Muuntuvien uomien tila on saattanut kaupunkikehityksen lomassa heikentyä. Niiden valuma-alueilla olisi tärkeää hallita hulevesiä kaupungistumisen vaikutusten lieventämiseksi. Taantuneet uomat eivät voi enää saavuttaa luonnollista vakavuutta tai biologista monimuotoisuutta, joten niiden hallinnassa on tärkeää alapuolisen vesistön suojeleminen. Kaupungista tulevat haitta-aineet tulisi saada uomasta pois. (Schueler 1994)

Schueler (1994) huomauttaa, että kaikkien valuma-alueiden läpäisemättömän pinnan rajoittaminen 10 prosenttiin ei kuitenkaan ole järkevää. Silloin kaupunkien kehitys leviäisi paljon suuremmalle maantieteelliselle alalle, mikä tarkoittaisi myös suurempaa tarvetta liikenneverkostolle näiden taajamien välille. Schuelerin (1994) mukaan paras tapa minimoida läpäisemätön pinta on keskittää kaupungit tiheiksi ryppäiksi tai keskustoiksi. Niissä läpäisemätöntä pintaa on yleensä hyvin paljon, jopa 25-100 %. Tällaisten alueiden uomien tilaa on mahdotonta pitää hyvänä, mutta silloin muiden alueiden uomat voivat säilyä luonnontilaisena.

Taajamatulvia tulisi tarkastella koko valuma-alueen tasolla. Yläpuolisen valuma-alueen maankäyttö vaikuttaa huomattavasti uomien tulvimiseen. Pintavalunnan vähentämiseksi voidaan rajoittaa pintojen tiivistämistä ja päällystämistä, säilyttää metsäalaa ja kosteikkoja sekä lisätä veden imeytymistä edistämällä uusia maatalouskäytäntöjä. Tulvariskit tulisi ottaa huomioon kaupunkisuunnittelussa rajaamalla riskialueet, määrittämällä maankäyttö eri riskialueille ja ottamalla käyttöön maankäytön säännöstely. (WMO 2008)

Schueler (1997) on määrittänyt seuraavat keinot valuma-alueen suojeluun:

- Valuma-alueen kokonaisvaltainen suunnittelu
- Herkkien alueiden ja puuston suojelu
- Suojavyöhykkeen luominen valuma-alueelle
- Kaupungin kehittäminen ryppäissä
- Katujen suunnittelu kapeammiksi ja pysäköintialueiden pienemmiksi

- Rakentamisen aikaisen eroosion hallinta
- BMP-menetelmien (Best Management Practice) käyttöönotto.

Boothin et al. (2002) mukaan uoman suojelemiseksi etenkin haja-asutusalueilla metsäalueen säilyttäminen on tärkeämpää, kuin läpäisemättömän pinnan rajoittaminen. He kuitenkin korostavat, että läpäisemättömän pinnan vähentämistä tulee pohtia yhdessä sosiaalisten tavoitteiden kanssa. Sekä uudisrakentaminen, että vesistöjen tilan säilyttäminen tai jopa parantaminen tulee ottaa kaupunkisuunnittelussa huomioon. He myös huomauttavat, että mitkään toimenpiteet eivät estä kaikkia kaupungistumisen vaikutuksia uomaan.

Vesistöjen suojeluun on kehitetty toimenpidesuunnitelma (Booth et al. 2002). Metsäalasta tulisi suojella vähintään puolet ja läpäisemättömää pintaa tulisi olla enintään 20 % valuma-alueen pinta-alasta. Alueella tulisi viivyttää hulevesiä virtaaman kontrolloimiseksi. Ranta-alueet sekä kosteikot tulisi jättää luonnontilaisiksi ja jyrkille tai epävakaille rinteille ei saisi rakentaa mitään.

Booth et al. (2004) huomauttavat, että yksittäiset, hyvin paikalliset keinot eivät auta kaupunkipurojen kunnostamisessa pitkällä tähtäimellä. Useimmiten puro tarvitsee kokonaisvaltaisesti terveen valuma-alueen. Yksittäiset keinot hoitavat oireita, mutta eivät paranna ongelmaa. Booth et al. (2004) ehdottavat seuraavia toimenpiteitä uomien suojelemiseksi ja kunnostamiseksi:

- Kasvillisuuden säilyttäminen ryppäinä etenkin uoman ympärillä ja kosteikoissa, jolloin rannat pysyvät koskemattomina
- Valuma-alueen läpäisemättömän pinnan rajoittaminen varsinkin alueilla, joista hulevedet valuvat suoraan vastaanottavaan vesistöön
- Rantavyöhykkeiden ja kosteikkojen suojelu, myös poistamalla uomasta rumpuja
- Uomanhoito-ohjelmien tekeminen maanomistajille, joissa määritetään heidän tärkeä roolinsa uoman kunnostamisessa
- Useiden eri tieteenalojen, kuten insinööritieteiden, biologian ja ekologian, soveltaminen uomaa kunnostaessa
- Uoman tilan seuraaminen mittausten avulla.

2.3.2 Hulevesien hallintamenetelmiä

Jatkosuositusten selvittämiseksi tässä kappaleessa on tehty katsaus erilaisiin hulevesien hallintamenetelmiin. Hulevesien hallinnan parantamiseksi on hulevesijärjestelmää suunniteltaessa otettava huomioon koko valuma-alue. Valuma-alue tarkastelussa tulee ottaa huomioon tuleva maankäyttö sekä sen vaikutukset hulevesiin, ja vesistön alapuolella sijaitsevien alueiden hulevesien vastaanottokapasiteetti. Hulevesien hallinta tulee suunnitella vastaanottavaan vesistöön asti. On tärkeää ottaa maankäytön yleiseksi suunnitteluperiaatteeksi hulevesien muodostumisen vähentäminen sekä hulevesien imeyttäminen pohjavedeksi ja varastoiminen. Hulevesiä tulee johtaa hallitusti ja tulvia hallita, sekä epäpuhtauksia vähentää hulevesiä käsittelemällä. (Vantaan kaupunki 2009)

Vantaan Hulevesiohjelmaan (Vantaan kaupunki 2009) on kehitetty prioriteettijärjestys hulevesien käsittelyyn. Ensisijaisesti hulevedet tulee käsitellä ja hyödyntää syntypaikallaan. Tämä tarkoittaa käytännössä hulevesien hyödyntämistä tontilla ja maahan imeyttämistä. Jos maaperän laatu tai muut olosuhteet eivät sitä salli, johdetaan tontin hulevedet pois syntypaikaltaan suodattavalla ja hidastavalla järjestelmällä. Hulevesien suodattaminen maassa ja maan pinnalla puhdistaa vettä sekä hidastaa sen kulkua vastaanottavaan vesistöön. Jos tämä ei onnistu, johdetaan hulevedet pois hulevesiviemäriin jollekin yleisellä alueella sijaitsevalle hidastus- ja viivytyalueelle ennen vesistöön johtamista. Vasta jos hulevesien imeyttäminen ja viivyttäminen ei ole mahdollista tonteilla eikä yleisillä alueilla ennen vastaanottavaa vesistöä, johdetaan ne hulevesiviemäreillä suoraan vesistöön. Tällöin puroihin saatetaan tehdä lampia ja tulvatasanteita, jotka hidastavat virtaamaa ja voivat toimia kiintoaineksen laskeutumispaikkana.

Maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttää kaavojen ympäristövaikutusten arvioimista. (MRL 1999/132). Hulevesioppaan (Kuntaliitto 2012) mukaan uusia rakennettavia alueita suunniteltaessa tulee tarkastella yleiskaavatasolla valuma-alueita ja niissä sijaitsevia pohjavesialueita sekä vesistöjä. Yleiskaavaan tai osayleiskaavaan voi sisällyttää määräyksiä hulevesien hallinnan mitoituksista. Hulevesien käsittelyyn voi myös osoittaa tilavaroja erilaisiin kaavoihin. Maankäytön suunnitteluun kuuluu myös valuma-alueen tulvareittien tarkastelu. Tulvareittitarkastelusta tulee laatia

tulvareittikartta, jossa osoitetaan hulevesien kulkureitit kun hulevesijärjestelmien mitoitus on ylittynyt.

Suomessa hulevedet johdetaan useimmiten erillisviemäröinnillä suoraan vesistöihin (Jormola 2008). Rakennetuilla alueilla hulevedet on perinteisesti koettu haittana ja uhkana erilaisille toiminnoille sekä rakenteille. Vanhoilla alueilla voi vielä olla käytössä sekaviemäröinti. Tällöin hulevedet kulkeutuvat käsiteltäviksi jätevedenpuhdistamoille jätevesien mukana. Rankkasateiden ja tulvatilanteiden aikana sekaviemäröinnin kapasiteetti ei välttämättä riitä, jolloin jätevesiä voi päästä luontoon.

Mutkittlevat ja epätasaiset norot soveltuvat hulevesien johtamiseen paremmin kuin täysin suorat ojat. Luonnontilaista muistuttavat uomat hidastavat virtausta tehokkaammin. Jos puro tulvii liikaa, voi sen varteen kaivaa tulvatasanteita uoman poikkileikkausalan kasvattamiseksi. Näin virtaus purossa hidastuu, eroosio heikkenee ja kiintoaines alkaa vähitellen laskeutua. Alivirtausuoma tulisi kuitenkin säilyttää kapeana, jotta vesisyvyys pysyy riittävänä myös alivirtaamalla. (Kuntaliitto 2012)

Lampien ja kosteikkojen avulla voidaan tasata valuntaa ja puhdistaa hulevesiä (Jormola 2008). Niissä veden virtausnopeus hidastuu, jolloin kiintoaines laskeutuu. Lammet ja kosteikot ovat usein myös maisemallisesti hyväksytyjä ja hyödynnettyjä. Suuren pinta-alansa ansiosta ne voivat viivyttää suuriakin valuntoja. Lammista ja kosteikoista voi vettä myös imeytyä maaperään ja haihtua ilmaan (Kuntaliitto 2012).

Hulevesiä voidaan imeyttää ja viivyttää taajama-alueilla, mutta tämä vaatii usein runsaasti tilaa (Jormola 2008). Viivytyks- ja imeytymisalueet tulee suunnitella hyvin, jotta väliaikaisesti muodostuva vesialue on sosiaalisesti hyväksyttävä. Alueen sijainti ja ilme ovat hyvin tärkeitä. Hulevesiä voidaan imeyttää ja varastoida esimerkiksi rakentamalla sadepuutarhoja tai viherkattoja. Viherkattojen on havaittu pidättävän tehokkaasti sadevettä (VanWoert et al. 2004).

Pysäköintialueet voi pinnoittaa harvasaumaisilla laatoituksilla, jolloin ne läpäisevät vettä (Jormola 2008). Liikennealueille voi myös tehdä viherkaistoja, jotka läpäisevät hulevesiä. Esimerkiksi Davis-maa-aines, joka koostuu laavakivestä (75 %) ja

savimaasta (25 %), läpäisee hyvin vettä ja pidättää haitta-aineita (Xiao & McPherson 2009). Hulevesien imeytymistä pohjavedeksi voidaan edistää suojelemalla luonnonalueita, joissa maaperä läpäisee hyvin vettä. Puhtaat katoilta tulevat sadevedet voidaan imeyttää suoraan läpäisevään maaperään, mutta pääkatujen ja muiden likaiset hulevedet edellyttävät tehokkaampaa käsittelyä. (Kuntaliitto 2012)

Imeytys- ja suodatusalueilta ylivuotavat hulevedet tulisi ensisijaisesti johtaa pois avopainanteissa tai antaa niiden valua maan pintaa pitkin. Huleveden kiintoaines suodattuu ja virtaus hidastuu painanteiden kasvillisuuden johdosta. Vettä voi myös imeytyä maahan. Hulevesiä voi johtaa luonnontilaisia muistuttavissa uomissa, joiden mutkittelu ja kynnykset hidastavat veden virtausta. (Kuntaliitto 2012)

Tulva-alueiden avulla voidaan tasata puron virtaamaa, jos puron tulvimisesta ei koidu haittaa. Puron reunoja ja kynnyksiä tulisi kuitenkin suojella eroosiolta esimerkiksi kiviaineksella tai kasvillisuudella. Tulvimista voi tarpeen mukaan rajoittaa tulvatasanteilla. Hulevesien virtausta voi myös hidastaa rantavyöhykkeellä juuri ennen sen purkautumista vesistöön. Vesi voidaan johtaa rantavyöhykkeelle siten, että virtaus tasaantuu ja kiintoaines laskeutuu vesikasvillisuuteen. Hulevesien laadun parantaminen edellyttää hulevesien hallintaa. (Kuntaliitto 2012)

Hulevesien kuormitusta vesistöihin on pyritty vähentämään luonnonmukaisilla menetelmillä Suomessa ja maailmalla. Vihdissä (Salminen 2010) taajaman laajentuessa hulevedet lisäsivät Enäjärven kuormitusta. Hulevedet oli johdettu osin putkitettuun ja osin oiottuun ja perattuun uomaan. Uoma kärsi merkittävästä eroosiosta ja uomassa kulkeutui paljon haitta-aineita Enäjärveen. Puron ympärille rakennettiin puisto, jonka keskellä uoma mutkittelee. Puistossa on tulvaniittyjä, viivytyksaltaita, hapettavia pikkukoskia sekä rakennettuja kosteikkoja. Uomalle jäi paljon tilaa ja sen ympärillä on suojavyöhyke puineen, joka tarjoaa elinympäristön ja ekosysteemipalveluita. Uoman penkat vahvistettiin kivillä ja kasvillisuudella. Puron suulle ennen Enäjärveä rakennettiin kosteikko. Alueella on lisäksi luontopolkuverkosto, josta käsin asukkaat saavat nauttia luontomaisemasta sekä -äänistä.

Tärkeää Boothin et al. (2002) mielestä on määrittää ne valuma-alueet, joissa kaupungistuminen vielä on vähäistä ja vesistöjen tila on hyvä. Näille valuma-alueille tulisi kehittää omat hulevesien hallintamenetelmänsä, jotta vesistöjen laatu pysyy hyvänä. Samojen käsittelymenetelmien käyttö kaupungistuneissa ja vähemmän muutetuissa valuma-alueissa ei ole järkevää. Esimerkiksi Washingtonissa kaupungistuneella alueella olevat viivytyksaltaat eivät ole estäneet uomissa tapahtuvaa eroosiota. Kaupungistuneen valuma-alueen rakenteelliset muutokset voisivat vähentää eroosiota tai tulvimista, mutta nekään eivät paranna uomaa elinympäristönä. (Booth et al. 2002)

2.4 Vesistömallinnus

2.4.1 Erilaisten mallien soveltaminen

Vesistömallinnuksen avulla yritetään usein löytää numeerisia ratkaisuja erilaisiin ongelmiin. Mallit ovat yksinkertaistuksia todellisesta luonnosta, ja niiden toiminta perustuu matemaattisiin yhtälöihin. Yhtälöiden avulla voidaan kuvata erilaisten fysikaalisten systeemien toimintaa. Virtausmallinnuksen avulla voidaan tutkia esimerkiksi jokien dynamiikkaa, eroosiota, tulvimista, tulvanhallintaa sekä altain ja muiden rakenteiden sedimentoitumista (Wu 2008).

Hydrologisilla malleilla voidaan mallintaa yksittäisiä sadetapahtumia tai jatkuvaa sadantaa ja valuntaa kaupunkialueilla. Esimerkiksi SWMM-ohjelma (Strom Water Management Model, EPA 2012) kuvaa osavaluma-alueilta tulevan valunnan määrää ja laatua sekä hulevesien virtausvyvyttä ja -nopeutta hulevesiviemäreissä. Malliin voi myös syöttää luonnonmukaisia hulevesien hallintamenetelmiä, kuten viherkattoja, sadepuutarhoja tai kosteikkoja, jotka se ottaa huomioon valunnan laskemisessa.

Virtausmallit ovat yleensä yksi-, kaksi- tai kolmiulotteisia (1D, 2D ja 3D). Luonnonolosuhteissa virtaus on useimmiten kolmiulotteinen ilmiö, jota 3D-malli kuvaisi parhaiten. 2D- ja 3D-malleilla voidaan mallintaa monimutkaisempien virtausolosuhteiden prosesseja kuin 1D-malleilla, mutta 3D-mallit ovat kuitenkin monimutkaisuutensa takia paljon aikaa vieviä. 1D- ja 2D-malleissa on tehty yksinkertaistuksia, jotta mallien käytöstä on saatu nopeampaa ja helpompaa.

2D-malleissa lasketaan vedenkorkeustietojen lisäksi virtausnopeus kahdessa vaakasuunnassa (x ja y), ja malli laskee virtaussuunnan nopeuden x- ja y-komponenteista. 2D-malleja sovelletaan esimerkiksi matalissa järvissä ja jokivesistöissä. 2D-malleilla voidaan tehdä erilaisia virtauslaskelmia, sekä mallintaa esimerkiksi veden laatua, uoman eroosiota tai jokijäitä.

1D-malleissa muuhun kuin virran suuntaan meneviä nopeuskomponentteja ei oteta huomioon. Lisäksi 1D-malleissa lasketaan useimmiten virtaama ja vedenkorkeus siten, että virtaussuunta on mallissa kohtisuoraan poikkileikkaukseen nähden. 1D-malleja käytetään paljon jokivesistöissä ja altaissa virtauksen sekä kiintoaineen kulkeutumisen mallinnukseen (Wu 2008).

1D-malleja on monia erilaisia. Esimerkiksi MIKE 11 (DHI 2011), ISIS (Halcrow 2012), TUFLOW (BMT 2011) ja HEC-RAS (Brunner 2010a) -malleilla voi kuvata virtausta joissa ja tulvatasanteilla. Monet näistä malleista ovat ilmaisia ja ne sisältävät sovelluksia, joilla voi tehdä tulvakarttoja. Lisäksi useimmista on myös saatavana 2D-malli. InfoWorks RS -mallilla (Innovyze 2011) voi kuvata jokivirtausta ja simuloida sadantaa ja valuntaa. Moniin malleihin on myös sisällytetty vedenlaadun ja kiintoaineen kulkeutumisen arviointi.

Tässä työssä Kylmäojan itähaaran mallintamiseen on valittu HEC-RAS -malli, sillä HEC-RAS -mallia on käytetty myös Kylmäojan pääuoman mallinnukseen (FCG 2010a). Itähaaran puro on melko pieni verrattuna pääuomaan, mutta HEC-RAS:n on oletettu sopivan kuvaamaan puron hydraulista toimintaa kevätylivirtaaman aikaan. Kylmäojan korvessa sijaitseva kosteikko on haastava mallintaa uomille tarkoitetulla virtausmallilla, sillä kosteikolla on laaja pinta-ala, eikä vesi virtaa kosteikossa välttämättä samalla tavalla kuin uomassa. Kosteikon mallintaminen tuo epävarmuuksia mallin toimivuuteen.

2.4.2 Virtausmallinnus HEC-RAS:lla

HEC-RAS on USACE:n (The U.S. Army Corps of Engineers) kehittämä mallinnusohjelma, joka on tehty Yhdysvalloissa vesitalouden hallinnan ja suunnittelun

avuksi. Ensimmäinen versio (1.0) HEC-RAS -ohjelmasta julkaistiin vuonna 1995, ja uusin versio (4.1) on julkaistu vuonna 2010. (Brunner 2010b)

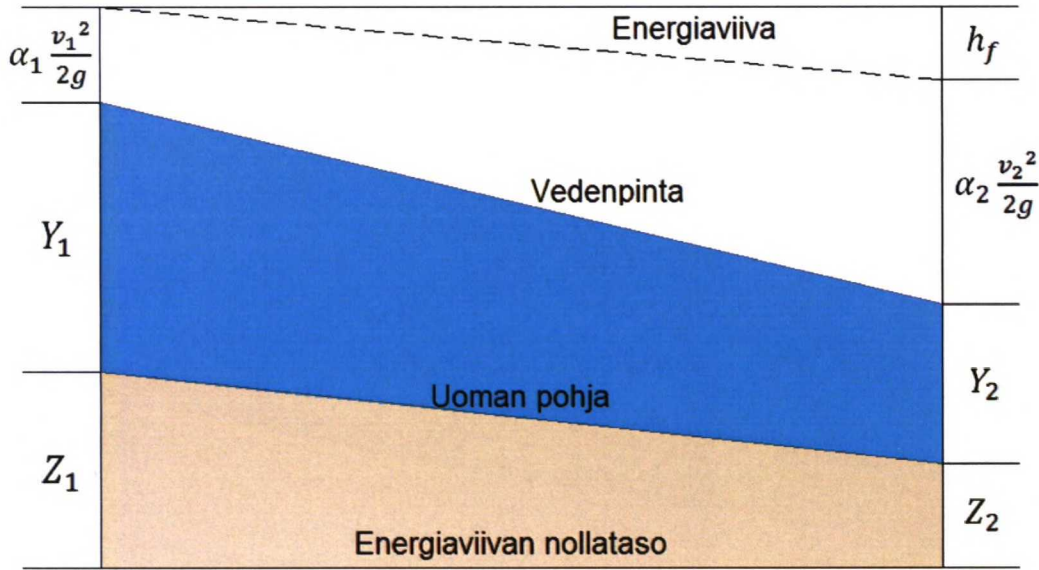
HEC-RAS on yksiulotteinen virtausmalli, jolla voidaan laskea joko pysyvää tai muuttuvaa virtausta. HEC-RAS ottaa laskelmissaan huomioon paikallishäviöt ja veden virtaustyyppin (kiito- vai verkkavirtaus). Ohjelma koostuu neljästä eri mallinnusosasta; pysyvän virtauksen laskenta, muuttuvan virtauksen simulointi, kiintoaineen kulkeutumisen laskenta ja veden lämpötila-analyysi. Kaikki mallin osa-alueet käyttävät samaa geometristä dataa ja yhtäläisiä hydraulisia laskentamenetelmiä.

Ohjelmalla voi mallintaa yksittäisiä uomia tai haarautuvia jokivesistöjä. Ohjelmassa edellytetään, että jokikanavien kaltevuudet ovat pieniä, alle 1:10. HEC-RAS on suunniteltu helpoksi, mutta tehokkaaksi uomien mallintamisohjelmaksi. Ohjelmaan voi myös syöttää erilaisia rakenteita, kuten siltoja, rumpuja sekä tulvatasanteita. Uoman poikkileikkauksessa virtauksen oletetaan vaihtelevan asteittain. Virtausnopeus on jakautunut tasaisesti ja vedenpinta on poikkileikkauksessa vaakasuorassa.

Tässä työssä virtauksen oletetaan olevan pysyvää. Pysyvää virtausta mallinnettaessa ohjelma käyttää energiayhtälöä vedenpinnantason laskemiseen. Uoman vedenpinnan profiili lasketaan poikkileikkausten välillä ratkaisemalla energiayhtälö (1) iteroimalla käyttäen standardiaskellusmenetelmää.

$$Z_2 + Y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + h_f, \quad (1)$$

missä α_i on epätasaisesta nopeuden jakautumisesta aiheutuva kerroin, Y on veden syvyys [m], Z on pohjan korkeus [m], v on virtausnopeus [m/s], g on painovoiman kiihtyvyys [m/s^2] ja h_f on energiahäviö [m]. Kuvasta 6 nähdään energiayhtälön parametrit. Energiaviivan korkeuden ja häviön summa alavirran puolella on yhtä kuin energiaviivan korkeus ylävirrassa.



Kuva 6. Energiayhtälön parametrit; α_i on epätasaisesta nopeuden jakautumisesta aiheutuva kerroin, Y on veden syvyys [m], Z on pohjan korkeus [m], v on virtausnopeus [m/s], g on painovoiman kiihtyvyys [m/s^2] ja h_f on energiahäviö [m]. (Kärkäs 2012)

Energiahäviöt koostuvat kahden poikkileikkauksen välillä kitkasta sekä poikkileikkausten laajentumisesta ja kaventumisesta. Ohjelma olettaa, että uoma kaventuu aina silloin, kun nopeuskorkeus alavirrassa on suurempi kuin ylävirrassa. Vastaavasti ohjelma olettaa, että uoma laajenee, kun nopeuskorkeus ylävirrassa on suurempi kuin alavirrassa. Energiahäviön kaava on:

$$h_f = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right|, \quad (2)$$

missä L on virtausalueella painotettu poikkileikkausten etäisyys [m], S_f on kitkahäviö ja C on laajenemis- tai kaventumishäviökerroin.

Vedenjohtokyky lasketaan muunnetun Manningin yhtälön avulla (kaava 3).

$$Q = KS_f^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

missä läpäisykerroin K lasketaan kaavalla 4.

$$K = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}}, \quad (4)$$

missä n on Manningin kerroin, A on virtausala [m^2] ja R on hydraulinen säde [m].
Kitkahäviön kaltevuus energiaviivassa S_f lasketaan kaavalla 5 muunnetun Manningin yhtälön avulla.

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2, \quad (5)$$

missä Q on virtaama [m^3/s].

HEC-RAS laskee jokaiselle poikkileikkaukselle vain yksittäisen keskimääräisen energian. Poikkileikkauksen keskimääräinen energia saadaan kaavasta 6 laskemalla poikkileikkauksen kolmesta osa-alueesta (vasen penkka, pääuoma ja oikea penkka) virtaamalla painotettu energia.

$$a \frac{v^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{v_1^2}{2g} + Q_2 \frac{v_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2}, \quad (6)$$

Yhtälön 6 nopeuskerroin a lasketaan kaavalla 7.

$$a = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right]}{K_t^3}, \quad (7)$$

missä A_t on poikkileikkauksen virtauspinta-ala [m^2], A_{lob} , A_{ch} ja A_{rob} ovat vastaavasti vasemman penkan, pääuoman ja oikean penkan virtauspinta-alat [m^2], K_t on poikkileikkauksen läpäisykyky ja K_{lob} , K_{ch} sekä K_{rob} ovat vastaavasti vasemman penkan, pääuoman ja oikean penkan läpäisykyvyt.

Poikkileikkauksen tuntematon vedenkorkeus lasketaan iteroimalla käyttäen kaavoja 1 ja 2. Standardiaskellusmenetelmä etenee seuraavasti:

1. Oletetaan jokin vedenpinnankorkeus ylävirran poikkileikkaukseen.
2. Oletetun vedenpinnankorkeuden perusteella lasketaan sen mukainen vedenjohtokyky ja nopeuskorkeus poikkileikkauksessa.

3. Askeleesta 2 saatujen arvojen mukaan lasketaan kitkahäviö ja paikallishäviö ja ratkaistaan yhtälö 2.
4. Askeleista 2 ja 3 saatujen arvojen avulla ratkaistaan yhtälö 1, jolloin saadaan laskettua vedenkorkeus poikkileikkauksessa.
5. Verrataan laskettua vedenpinnankorkeuden arvoa askeleessa 1 oletettuun arvoon. Askeleet 1...5 toistetaan niin monta kertaa, kunnes oletettu ja laskettu vedenpinnankorkeusarvo ovat tarpeeksi lähellä toisiaan.

Ohjelma ei sovelle energiayhtälöä, kun virtaama muuttuu kiihtovirtauksesta verkkavirtaukseksi tai päinvastoin, vaan silloin sovelletaan momenttiyhtälöä (9). Myös uomien liitoskohdissa sovelletaan momenttiyhtälöä.

$$\frac{Q_2^2 \beta_2}{g A_2} + A_2 \bar{Y}_2 \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \bar{S}_f = \frac{Q_1^2 \beta_1}{g A_1} + A_1 \bar{Y}_1, \quad (9)$$

missä β on momenttikerroin, joka kuvaa epäsäännöllisten uomien vaihtelevaa nopeusjakaumaa.

2.4.3 HEC-RAS:lla mallinnettuja vesistöjä

Vantaalla on käytetty HEC-RAS:a monien purojen ja jokien mallintamiseen. Keravanjoki on mallinnettu HEC-RAS:lla vuonna 2008, ja sen avulla on tehty alueelle tulvakartta (Insinööritoimisto Pekka Leiviskä 2008). Lisäksi Vantaalla on mallinnettu Kylmäojan pääuoma HEC-RAS:lla (FCG 2010a). Mallinnuksen avulla tarkasteltiin uoman kevään ylivirtaamatilannetta sekä kesän rankkasateiden aiheuttamaa ylivirtaamatilannetta. Kevätylivaluma arvioitiin Seunan (1983) nomogrammin avulla. Kylmäojan pääuomalle määritettiin tulva-alueet mallin laskemien vedenkorkeuksien avulla.

Helsingissä sijaitseva Mustapuro on mallinnettu HEC-RAS:lla (Rakennustaito 2001). Mustapuro on 4 km pitkä, ja sen valuma-alueen pinta-ala on 6,5 km². Puron valuma-alue on suureksi osaksi kaupunkialuetta. Mallinnusta varten määritettiin mitoitusvirtaama rationaalisella menetelmällä ja puron mallinnuksen yhteydessä mallinnettiin myös alueen sadevesiverkostoja. Virtausmallia ei kalibroitu lähtötietojen

rajallisuuden takia. Mallinnuksen tuloksista huomattiin, että puro ei tulvinut kerran 2 vuodessa esiintyvällä sadetapahtumalla, mutta sen vedenpinta oli paikoittain niin korkealla, että se nosti kyseiseen kohtaan purkavien sadevesiviemäreiden paineviivaa. Tämän johdosta sadevesikaivot tulvivat. Kerran 50 vuodessa esiintyvällä sadetapahtumalla puro tulvi monin paikoin ja tulvimisen vähentämiseksi ehdotettiin osan puron rumpujen suurentamista.

Espoon Suomenojalla on mallinnettu Finnobäcken-puro ja alueelle on tehty tulvakartoitus HEC-RAS:n avulla (FCG 2009). Uoman pituus on noin 10 km ja valuma-alueen pinta-ala on 26 km². Valuma-alueen maankäyttö on monipuolista rakentamattomista alueista tiheästi rakennettuihin keskusta-alueisiin. Mallinnuksen avulla tutkittiin puron nykyistä sekä tulevaa virtausta yleiskaavassa esitettyjen maankäytön muutosten jälkeen. Hulevesivirtaamat molemmissa tilanteissa määritettiin hydrologisen mallinnusohjelma SWMM:n (EPA 2012) avulla. HEC-RAS -mallinnus on tehty kerran 5 ja 100 vuodessa toistuvalla sateella. Mallista saatujen vedenkorkeustietojen perusteella alueelle on tehty tulvakartta. Tulvakartat nykyisellä ja tulevalla maankäytöllä eivät eronneet merkittävästi toisistaan. Sen sijaan kerran 5 ja 100 vuodessa esiintyvien sateiden tulvakartoissa oli selkeitä eroja tulva-alueen laajuudessa. Tulvien pienentämiseksi ehdotettiin tulvapenkereiden rakentamista.

Vantaalla ja Helsingissä sijaitseva Krapuoja on myös mallinnettu HEC-RAS -ohjelmalla (FCG 2012). Krapuojan pituus on 12 km, mutta uomasta mallinnettiin vain 5,7 km pituinen osuus. Koko uoman valuma-alueen pinta-ala on 30,4 km². Mallinnuksen avulla tutkittiin uoman käyttäytymistä erilaisissa virtaustilanteissa ja uoman kehittämistoimenpiteiden vaikutusta tulvimiseen. Mallia ei kalibroitu, vaan koko uomassa käytettiin karkeuskertoimen arvoa 0,035. Tässäkin tutkimuksessa uomaan tulevat hulevesivirtaamat määritettiin SWMM-ohjelman (EPA 2012) avulla. Uoman tulvimisen todettiin olevan maltillista. Krapuojaa esitettiin kehitettäväksi siten, että uomaa ennallistettaisiin mutkittelevammaksi ja monimuotoisemmaksi ja sen yhteyteen tehtäisiin tulvatasanteita.

Suriya ja Mudgal (2012) tutkivat maankäytön muutoksen vaikutusta valuntaan ja virtaamaan Intian rannikkokaupungissa Chennaissa. He määrittivät tulva-alueen HEC-

RAS:n avulla. Tutkimusalueesta oli vuonna 1976 neljäsosa rakennettua aluetta ja vuonna 2005 rakennettua aluetta oli yli kolmasosa. Vuoden 2005 maankäytön mukaan kerran 100 vuodessa syntyvä tulva-alue on 36,6 km², mikä on viidesosan suurempi, kuin vuoden 1976 maankäytöllä. Tulva-altaan syvyys oli vuoden 1976 mukaan 3,71 m ja vuonna 2005 vastaavasti 4,55 m. Kaupungistuminen alueella on siis kasvattanut tulva- aluetta ja sen syvyyttä.

Turkissa tehtiin tulvariskikartta (Akar et al. 2009) HEC-RAS:n avulla 3,66 km² kokoiselle osalle Yeniciftlik-joen valuma- aluetta, joka sijaitsee Istanbulissa. Alueelle mallinnettiin kerran 10, 50 ja 100 vuodessa tapahtuva tulva. Mallin mukaan kaikilla näillä tulvatapahtumilla osa asutusalueista joutuu veden varaan. Tulvan uhka ulottuu myös teollisuus- ja maatalousalueille. Maankäyttö alueella on suunnittelematonta, ja laaksossa olevilla asutusalueilla on suuri riski joutua tulvan koettelemaksi.

Chang et al. (2010) tutkivat ilmastonmuutoksen vaikutuksia paikalliseen liikenne- järjestelmään HEC-RAS -ohjelman avulla. Mallinnuksen kohteena oli kaksi uomaa Portlandin kaupunkialueella Pohjois-Amerikan länsirannikolla. Puroista tutkittiin viittä eri poikkileikkausta siltojen kohdalta. Molempien valuma-alueesta on kaupungistunut yli 50 %. Virtaamat ovat puroissa suurimmillaan yleensä talvisin. Tutkimuksessa mallinnettiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia vuosille 2020-2049 ja vertailujaksona käytettiin vuosia 1970-1999. Ilmastonmuutoksen on arvioitu lisäävän sekä rankentavan alueen sateita. Tulosten mukaan kerran 2, 5 ja 10 vuodessa tapahtuvat tulvat kasvavat alueella. Mallin tulosten mukaan neljä viidestä tutkitusta poikkileikkauksesta tulvii kerran 25 vuodessa esiintyvällä tulvalla, ja myös pienemmät tulvat tulevat yleistymään. Vesi nousee purojen tulviessa tutkittujen poikkileikkausten silloille, jolloin liikenne häiriytyy.

3 Tutkimuskohde

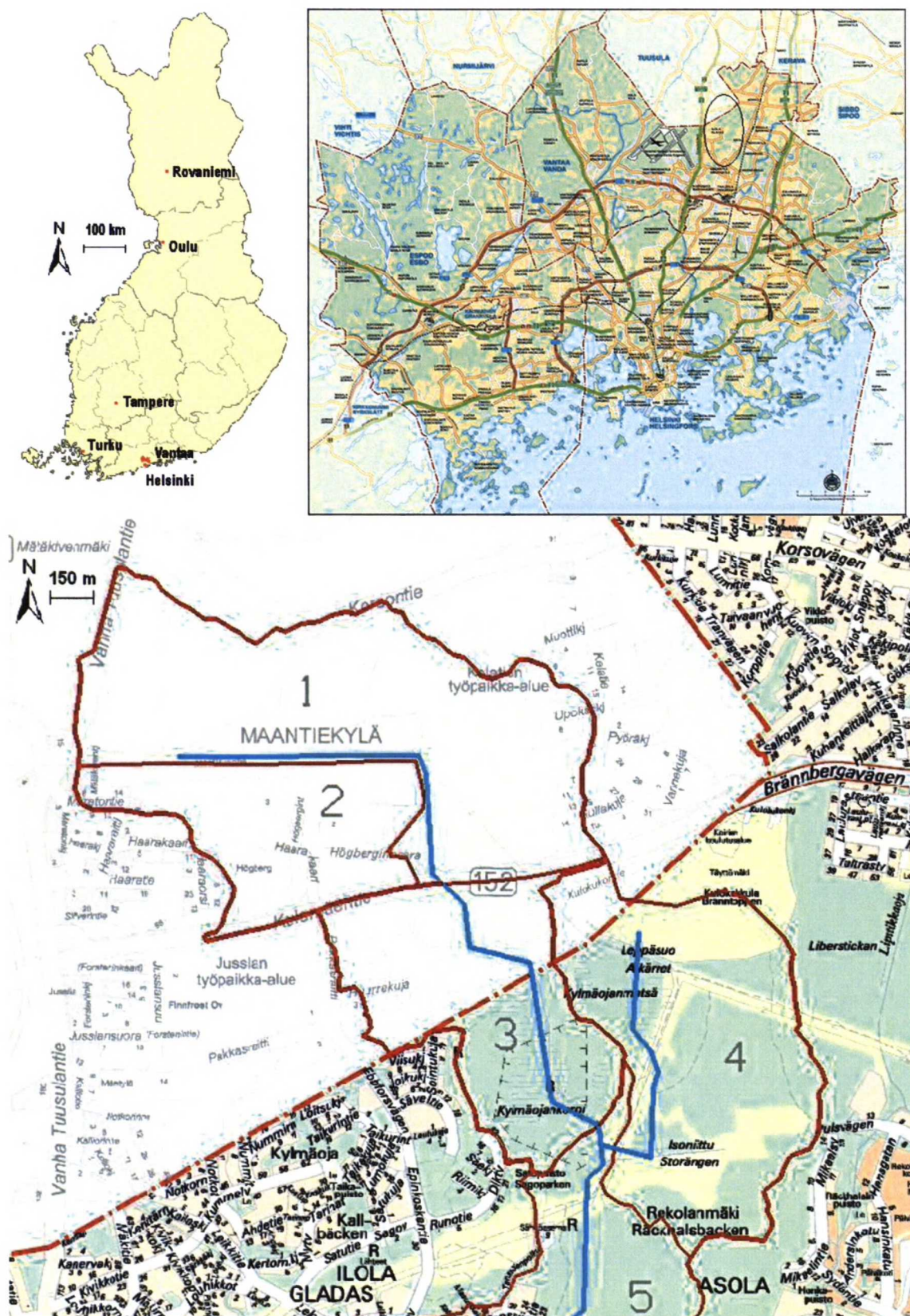
3.1 Valuma-alue

3.1.1 Aluekuvaus

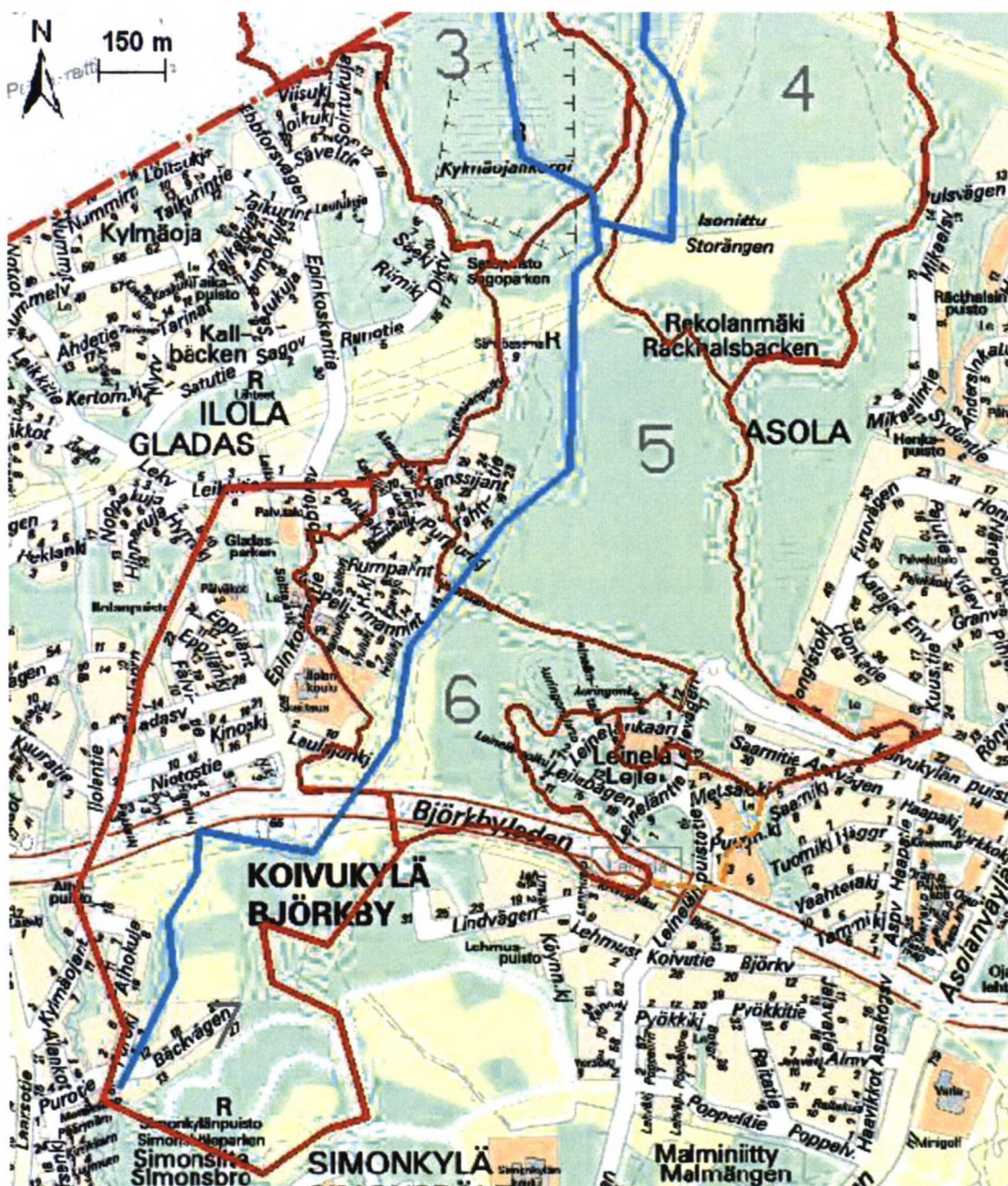
Kylmäojan uoman itäisen haaran valuma-alue sijaitsee osin Etelä-Tuusulassa ja osin Keski-Vantaalla (kuvat 7 ja 8). Itähaara saa alkunsa Tuusulan kunnan puolelta Maantiekylästä Mätäksen pohjavesialueelta, mistä se virtaa Kulomäentien ja Jusslan työpaikka-alueiden läpi. Sieltä puro virtaa Vantaalle suojellun Kylmäojan korven kautta Ilolan itäpuolelta Asolan ja Leinelän metsäalueen länsipuolelle, sekä Koivukylän ohi. Itähaarassa on sivuhaara, joka saa alkunsa Kulokukkulan täyttömäeltä. Sivuhaara liittyy itähaaraan Kylmäojan korven eteläpuolella.

Itähaara kulkee lähivirkistysalueen, suojaviheralueen sekä pientaloalueen halki. Osittain valuma-alueella sijaitsee myös Kulokukkulan täyttömäki. Valuma-alueen maastotyyppi vaihtelee metsä- ja suoalueesta asfalttipintaiseen kaupunkirakenteeseen. Ilolan kohdalla sijaitsee puron merkittävä koskialue, Ilolankoski (entinen Epinkoski, kuva 1). Puro laskee vetensä Kylmäojan pääuomaan Ruskeasannan kohdalla. Itähaara kuuluu Keravanjoen valuma-alueeseen.

Kylmäojan itäisen haaran valuma-alueen pinta-ala on 4,6 km². Valuma-alueesta 1,8 km² (39 %) sijaitsee Tuusulan puolella ja 2,8 km² (61 %) Vantaan puolella. Valuma-alueen rajausta on tehty määrittämällä kartta- sekä korkeustietojen perusteella todennäköiset vedenjakajat, kuten tiet ja korkeat maastokohdat. Valuma-alueen pinta-ala muuttuu hieman vuoteen 2030 mennessä nykytilanteeseen verrattuna. Leinelän osavaluma-alue tulee kasvamaan 9 hehtaarilla.



Kuva 7. Ylhäällä vasemmalla Suomen karttakuva (Krebs 2009) ja oikealla pääkaupunkiseudun karttakuva (Kaupunkimittausosasto 2012), jossa tutkimuskohde on ympyröity. Alhaalla Kylmäojan itäisen haaran yläosan valuma-alue ja osavaluma-alueet (1: itäinen työpaikka-alue, 2: länsiallas, 3: Kylmäojan korpi ja 4: sivuhaara). Punainen katkoviiva kuvaa kaupunginrajaa, Tuusula sijaitsee Vantaan pohjoispuolella.



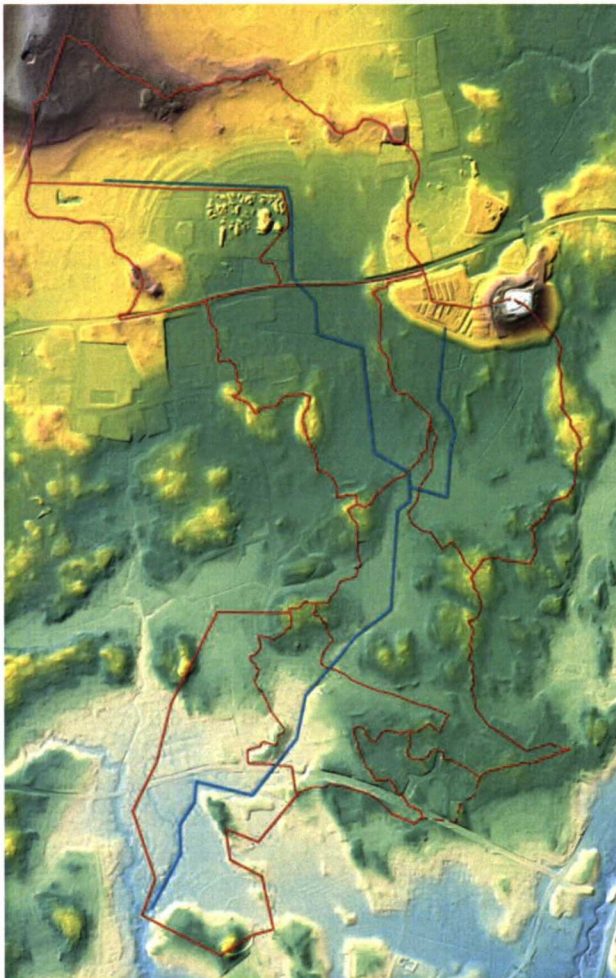
Kuva 8. Kylmäojan itäisen haaran alaosan valuma-alue ja osavaluma-alueet (5: Ilola, 6: Leinelä ja 7: Koivukylä). Oranssilla katkoviivalla merkitty alue liittyy Leinelän osavaluma-alueeseen vuoteen 2030 mennessä, mutta ei kuulu osavaluma-alueeseen tällä hetkellä.

Valuma-alue on jaettu seitsemään osavaluma-alueeseen. Osavaluma-alueet ovat Tuusulan itäinen työpaikka-alue (1,22 km²) ja länsiallas (0,23 km²), sekä Kylmäojan korpi (0,59 km²), sivuhaara (0,80 km²), Ilola (0,62 km²), Leinelä (0,39 km² nykytilanteessa, 0,48 km² vuonna 2030) ja Koivukylä (0,70 km²). Valuma-alue-rajaukset on tehty Vantaan kaupungin toimesta keväällä 2012 (kuva 7). Mitoitusvirtaamalaskelmissa ja mallinnuksessa on jätetty huomiotta Koivukylän osavaluma-alue, sillä tältä alueelta valuvat vedet syötettäisiin malliin vasta puron

päättöspisteessä. Ilman Koivukylän osavaluma-aluetta itähaaran valuma-alueen pinta-ala on 3,9 km².

Valuma-alueen maaperä koostuu savesta, siltistä ja moreenista. Kylmäojan korpi on soista savikkoaluetta ja Ilolan kohdalla on harvinainen savialueen kivikkoinen koski. Koskialueen alapuolella puro on sora- ja hiekkapohjainen, mutta muuttuu pian hiesu- ja savipohjaiseksi. Valuma-alueen maaperänä on myös hiekkaa ja soraa.

Valuma-alue viettää melko tasaisesti lounaan suuntaan, lukuun ottamatta Kulokukkulan täyttömäkeä (kuva 9). Kylmäojan itäisen haaran puro laskee valuma-alueen 42 metristä (N₄₃) päähaaran liittospisteeseen, jossa uoman pohja sijaitsee 20 m merenpinnan yläpuolella. Kulokukkula (36 ha) on korkeimmillaan 90 metriä merenpinnan yläpuolella.



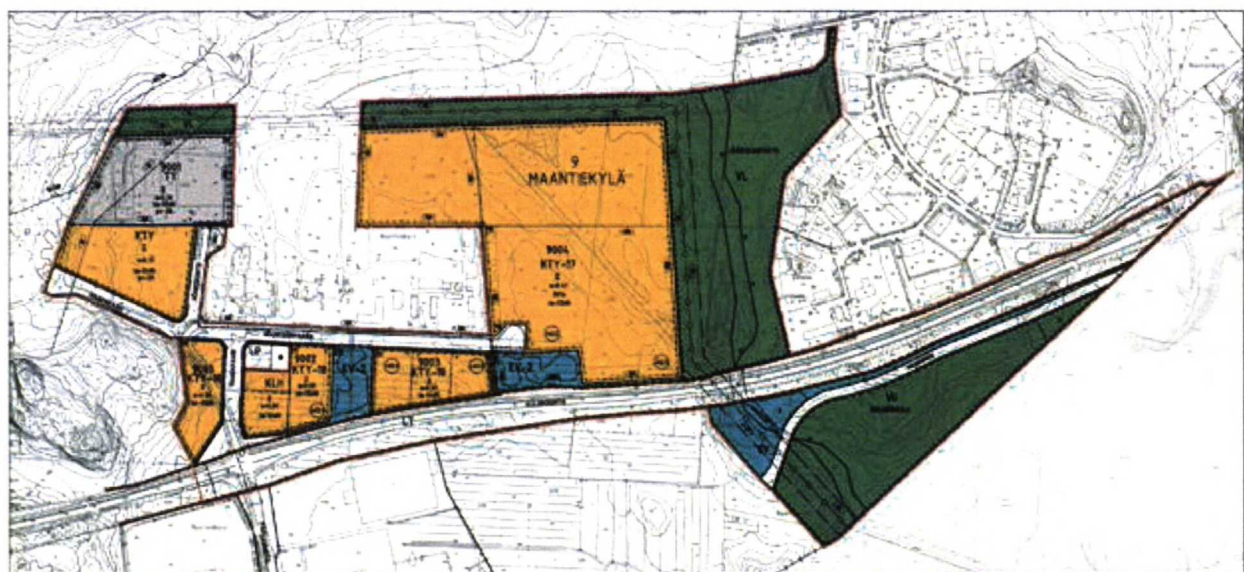
Kuva 9. Kylmäojan itäisen haaran alueen topografia. Valuma-aluerajaus esitetty kuvassa punaisella ja itähaaran puro sivuhaaroineen sinisellä. (Kalso 2012)

Valuma-alueella esiintyy monipuolista kasvillisuutta (Janatuinen 2012 keskeneräinen). Kylmäojan korpi on soistunutta metsää. Korven jälkeen Ilolankosken varrella esiintyy iäkästä kuusikkoa sekä saniaislehtoa. Kosken alapuolella puro virtaa lehtipuiden reunustamassa käytävässä, ja rannoilla kasvaa lehtokasvillisuutta. Itähaaran alaosassa esiintyy runsaasti liekopuuta eli suolla kasvanutta ja lopulta kelottunutta puuta, jonka juuristo on jäänyt turvekerroksen alle. Valuma-alueella on arvioitu olevan puustoa 25 kuutiota hehtaarilla (Vantaan kaupunki 2010).

Vantaalla vallitsee meri-ilmastotyyppi, jossa vuoden keskilämpötila on 4...6 °C. Kylmin kuukausi on usein helmikuu, jolloin keskilämpötila on -4...-7 °C ja lämpimin yleensä heinäkuu, jolloin keskilämpötila on 16,5...17 °C. Vuotuinen sademäärä on 600...700 mm, ja sateisin kuukausi on usein elokuu, jolloin sataa noin 80 mm. Myös loka- ja marraskuussa voi sataa 70...80 mm. Lumiolot vaihtelevat Etelä-Suomessa runsaasti, ja eri talvien pisimmät lumijaksot ovat kestäneet 10 päivästä 5 kuukauteen. Samoin lumensyvyys vaihtelee, Uudellamaalla lunta on ollut enimmillään 105 cm ja vähimmillään alle 20 cm. Keskimäärin lunta on enimmillään maaliskuun alkupuolella. (Kersalo & Pirinen 2009).

3.1.2 Maankäytön kehitys ja vaikutukset Kylmäojan itähaaraan

Kylmäojan itähaaran valuma-alue tulee kehittymään monin paikoin vuoteen 2030 mennessä. Valuma-alueelle on kaavoitettu lisää asuinalueita sekä työpaikka-alueita. Vantaan puolelle ollaan rakentamassa Leinelän asuinalueita (Vantaan kaupunki 2008). Koivukylän väylän eteläpuolelle rakennetaan paraikaa Kehärataa, joka tulee ylittämään Kylmäojan itähaaran. Tuusulan puolelle on kaavoitettu Kulomäentien työpaikka-alue, jonka yleissuunnitelma näkyy kuvasta 10 (Tuusulan kunta 2008). Eri värit kuvaavat erilaista maankäyttöä.



Kuva 10. Kulomäntien työpaikka-alueen asemakaava. Oranssit alueet kuvaavat toimitilarakennusten korttelialuetta, harmaa kuvaa teollisuusrakennusten korttelialuetta, vihreä kuvaa virkistysalueita ja sininen kuvaa suojaviheralueita. (Tuusulan kunta 2008)

Krebs (2009) tutki Kylmäoan valuma-alueen kehitystä ja maankäytön muutosten vaikutuksia Kylmäoan. Hän keskittyi maankäytössä läpäisemättömiin pintoihin, joihin kuuluvat katot, tiet ja piha-alueet. Krebsin (2009) mukaan Kylmäoan itäisen haaran valuma-alueen kattopinta-ala on kasvanut reilusti viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana. Sen odotetaan yli kolminkertaistuvan vuodesta 2007 vuoteen 2030 mennessä. Tiet ja piha-alueet läpäisemättöminä pintoina ovat lisääntyneet itäisen haaran valuma-alueella moninkertaisesti viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana. Teiden pinta-alan ei odoteta enää kasvavan suuresti vuoteen 2030 mennessä, mutta piha-alueiden odotetaan vielä kaksinkertaistuvan vuoteen 2030 mennessä. Kylmäoan itäisen haaran valuma-alueen läpäisemättömän pinnan määrät on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Läpäisemättömän pinnan arvioitu määrä [ha] ja prosenttiosuus (%) Kylmäoan itäisen haaran valuma-alueella vuosina 1977, 2007 ja 2030. (Krebs 2009)

| | 1977 | 2007 | 2030 |
|--|------------|------------|-------------|
| Katot | 1.0 | 9.1 | 28.2 |
| Tiet | 1.0 | 8.2 | 8.4 |
| Piha-alueet | 1.1 | 16.6 | 39.0 |
| Läpäisemätön pinta yhteensä | 3.1 | 33.9 | 75.6 |
| Läpäisemättömän pinnan osuus valuma-alueen pinta-alasta (%) | 1.0 | 7.0 | 16.0 |

Vuonna 1977 Kylmäoan itäisen haaran valuma-alueesta vain 1 % oli läpäisemätöntä pintaa, kun vuonna 2007 vastaava luku oli 7 % ja vuonna 2030 sen odotetaan olevan 16 % (Krebs 2009). Schuelerin (1994) luokittelun mukaan uoma siis muuttuu vuoteen 2030 mennessä luonnontilaisesta muuntuvaksi, ja tulee epävakaaksi. Samalla vedenlaatu heikkenee (kuvat 4 ja 5).

Krebs (2009) määrittäi Kylmäoan itäisen haaran valuma-alueen läpäisemättömillä pinnoilla syntyviä hulevesien määriä vuosina 1977, 2007 ja 2030. Vuonna 2007 syntyvä hulevesien määrä oli yli 11 kertaa suurempi kuin vuonna 1977. Vuodelle 2030 hulevesien syntymäärä on arvioitu käyttäen samaa sadantaa, kuin vuodelle 2007. Arvioitu läpäisemättömillä pinnoilla syntyvien hulevesien määrä kasvaa 122 % vuoteen 2030 mennessä vuoteen 2007 verrattuna. Arvioidut hulevesien syntymäärät vuosina 1977, 2007 ja 2030 on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Arvioidut hulevesien syntymäärät [l/s] vuosina 1977, 2007 ja 2030 Kylmäoan itäisen haaran läpäisemättömillä pinnoilla. Vaihtoehto a ja b kuvaavat Krebsin ehdottamia erilaisia rakennustapoja, jotka vaikuttavat hulevesien määrään. (Krebs 2009)

| | 1977 | 2007 | 2030 |
|------------------------|------|-------|--------|
| Arvioitu hulevesimäärä | 631 | 7 044 | 17 941 |
| Vaihtoehto a | | | 15 031 |
| Vaihtoehto b | | | 16 584 |

Virtaama laskettiin tilanteessa, jossa rakennetaan jatkossa rakennuksia, joiden kattopinta-alan ja kerrospinta-alan keskimääräinen suhde on 0,20 (vaihtoehto a taulukossa 2). Tämä tarkoittaa noin kuusikerroksista rakennusta. Tällöin Kylmäoan itäisen haaran valuma-alueen läpäisemättömiltä pinnoilta tuleva huippuvirtaama vuonna 2030 olisi 16 % vähemmän, kuin nykyisin vallitsevalla suhdeluvulla laskettu virtaama.

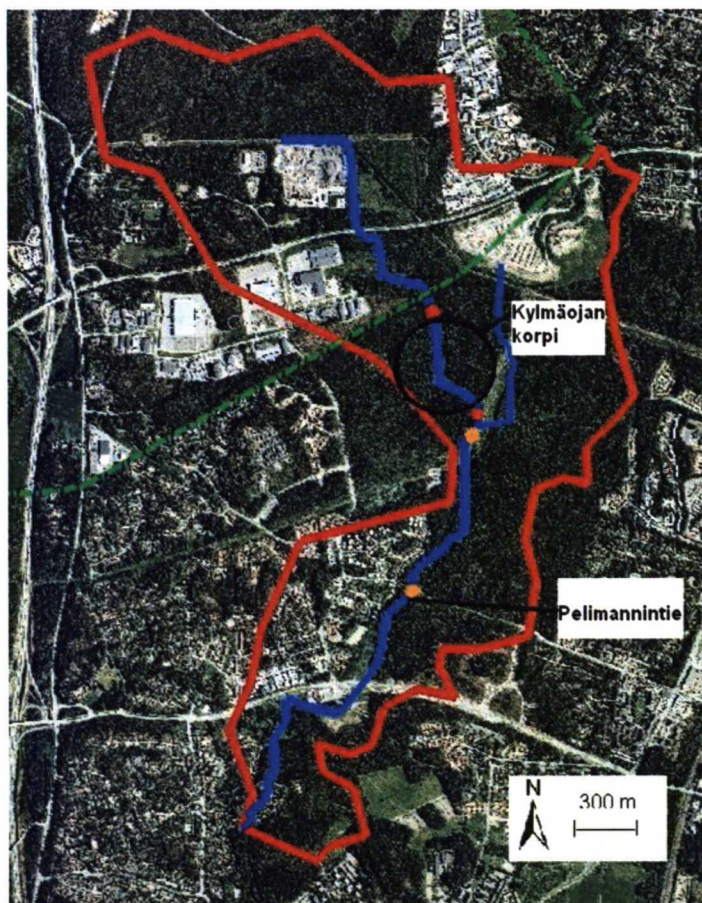
Kylmäoan itäisen haaran valuma-alueen piha-alueille on myös laskettu eri läpäisemättömien pintojen kertoimien avulla virtaamat vuodelle 2030. Läpäisemättömiltä pinnoilta tulevaa virtaamaa saataisiin vähennettyä 8 %, jos piha-alueilla olisi vähintään 20 prosenttiyksikköä enemmän läpäisevää pintaa kuin vuonna 2009 (vaihtoehto b taulukossa 2). Krebs (2009) suosittelee alueelle rakennettavan korkeita rakennuksia, jolloin katot veisivät suhteessa vähemmän pinta-alaa. Hän myös

toteaa, että suurten läpäisemättömien pysäköintialueiden rakentaminen voi kumota korkeista rakennuksista saatavat hyödyt.

3.1.3 Kylmäojan korven tarjoamat ekosysteemipalvelut

Taylor (2012 keskeneräinen) tutki Kylmäojan korven vaikutusta itäisen haaran virtaamaan ja veden laatuun. Tutkimuksen kohteena oli kaupunkirakenteen sisällä oleva metsäkosteikko, ja sen kyky hidastaa virtaamaa sekä varastoida vettä siten, että maksimivirtaama pienenee, minimivirtaama kasvaa ja tulvariskit vähenevät. Hän pyrki myös selvittämään, parantaako kosteikko kaupunkialueelta tulevan veden laatua.

Tutkimuksessa tutkittiin sekä korpeen tulevaa, että sieltä lähtevää vettä, ja verrattiin näiden määrää ja laatua keskenään. Korpeen tulevasta vedestä otettiin purossa siinä kohtaa näyte, missä tervaleppäkorpi alkaa (kuva 11). Toinen näyte otettiin puosta hieman ennen kosteikon päättymistä, jotta siihen ei tule mukaan valuntaa, joka ei ole kulkenut kosteikon läpi. Tutkimukset tehtiin kesäaikaan, ja tutkimusta varten oli havaintoja sekä alivirtaamasta, että ylivirtaamasta. Puroon vedestä tutkittiin sähkönjohtavuutta, happipitoisuutta, sameutta sekä lämpötilaa. Tutkimuksia varten itäisestä haarasta otettiin myös vesinäytteitä, joista tutkittiin eri laatuparametreja.



Kuva 11. Taylorin (2012 keskeneräinen) mittauspisteet korven molemmiin puolin Kylmäojan itähaaralla merkitty punaisiin pistein ja Tiensuun (2008) mittauspisteet merkitty oranssein pistein. Punainen viiva kuvaa valuma-alueen rajaa ja vihreä katkoviiva kuvaa Vantaan ja Tuusulan rajaa.

Tulosten mukaan puron veden sähkönjohtavuus ja sameus laskevat korpeen tulevan ja sieltä lähtevän pisteen välillä. Myös veden lämpötila laskee, keskimäärin $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ tulevan ja lähtevän pisteen välillä. Veden happipitoisuus sitä vastoin nousee korpeen tulevan ja sieltä lähtevän pisteen välillä. Korpeen tulevan veden näytepisteessä vedenpinnankorkeus vaihtelee huomattavasti enemmän kuin sieltä lähtevässä pisteessä. Taylorin (2012 keskeneräinen) mukaan veden laatu on purossa ennen korpea huonompi kuin korven jälkeen. Myös puron virtaamahuiput ovat korkeampia ennen korpea kuin sen jälkeen. Korpi siis parantaa veden laatua ja tasaa virtaamahuippuja.

3.1.4 Luonto-, maisema- ja virkistysarvot

Kylmäojan itäinen haara on viimeisiä Vantaan kaupungin merkittäviä purokäytäviä ja viheralueita, joka tarjoaa toimivat ekologiset yhteydet eläimistölle. Se on osa ekologista yhteyttä, joka ulottuu Keravanjoelta Mätäkivennummelle asti yhdistäen sen Vantaanjokilaaksoon (Janatuinen 2012 keskeneräinen). Kylmäojan itäisen haaran

luontoarvoluokitus on II (Vantaan kaupunki & FCG 2009), mikä tarkoittaa purokohteessa olevan merkittäviä luontoarvoja.

Puroon on istutettu taimenenpoikasia ja viime vuosina on havaittu taimenen onnistuneen lisääntymään alueella (Vantaan kaupunki & FCG 2009). Puron varrella Vantaan puolella sijaitseva Kylmäojan korpi on luonnonsuojelualue, jossa kasvaa luonnonsuojelulla rauhoitettua tervaleppää (Rantalainen 2004). Rauhoitetun alueen pinta-ala on 37 hehtaaria.

Purolla on virkistysarvoa, sillä sen rinnalla kulkee ulkoilureittejä ja alueella on runsasta virkistyskäyttöä. Virkistysarvot kasvavat uusien asuinalueiden valmistuessa. Suuri osa purosta sijaitsee asutukselta sivussa, joten sen maisema-arvo ei ole merkittävä. Koivukylän väylän viereen rakentuva Kehärata tulee kasvattamaan puron maisema-arvoa.

3.2 Kylmäojan itäinen haara

3.2.1 Morfologinen tila

Kylmäojan itähaaran vesi on suurimmaksi osaksi peräisin valuma-alueensa hulevesistä. Osa puron vedestä tulee myös alueen pohjavesistä, jotka pitävät yllä puron alivirtaamaa. Itähaaran vesi laskee Kylmäojan pääuomaan. Kylmäoja laskee Keravanjokeen, josta vesi kulkeutuu Vantaanjoen kautta mereen.

Itäisen haaran pituus on 4,9 km ja siitä 9 % on putkessa ja 91 % avouomassa. Putkitetut alueet ovat rumpuja eri puolilla itähaaraa. Kylmäojan itähaaran luonnontila-aste on 2, eli puroa on muokattu. Uoman kaltevuus on 0,5 %. Itähaarassa on rumpuja 13 kappaletta ja sen sivuhaarassa on 2 rumpua. Lisäksi itähaarassa on yksi silta Koivukylän puistotien kohdalla. (Vantaan kaupunki & FCG 2009)

3.2.2 Veden laatu ja ekologinen tila

Tiensuu (2008) selvitti koko Kylmäojan ekologista tilaa pohjaeläimistön perusteella. Kylmäojan itäiseen haaraan määritettiin kaksi näytteenottopaikkaa, joista toinen sijaitsi Kylmäojan korvessa ja toinen Ilolassa Pelimannintiellä (kuva 11). Kylmäojan korven

näytteenottopaikka sijaitsi rauhoitetun alueen eteläosassa, jossa itäpuolta puronvarresta oli muokattu ojituksella ja puustoharvennuksella, kun taas länsipuoli puronvarresta oli hyvin luonnontilainen. Pelimannintien näytteenottopaikka sijaitsi Ilolassa, jossa puron länsipuolella sijaitsi pientaloasutusta. Näytteitä otettiin molemmista näytepaikoista viisi kertaa.

Tulosten mukaan ympäristöhallinnon pohjaeläinindeksin perusteella näytteenottopaikkojen ekologinen tila on huono. Happipitoisuus ympäristöhallinnon vedenlaatuluokituksen mukaan oli molemmilla näytteenottopaikoilla erinomainen lähes kaikilla näytekertoilla. Poikkeuksena yksi näytekertaa, jolloin Kylmäojan korven happipitoisuus oli välttävä. Kemiallinen hapenkulutus oli Kylmäojan korven näytteenottopaikalla useimmiten korkeampi kuin Suomen sisävesien keskimääräinen arvo, ja Pelimannintiellä kemiallinen hapenkulutus oli useimmiten keskimääräisen arvon mukainen.

Bakteeripitoisuuksien mukainen vedenlaatuluokka oli molemmilla näytteenottopaikoilla keskimäärin välttävä. Itäisen haaran värilukuun perustuva vedenlaatuluokka oli keskimäärin tyydyttävä. Kokonaisfosforipitoisuuksien mukainen vedenlaatuluokka oli Kylmäojan korvessa keskimäärin välttävä ja Pelimannintiellä tyydyttävä. Itäisen haaran vesi oli laadultaan tyydyttävä.

Tiensuu (2008) arvioi, että Kylmäojan itäinen haara ei ole saastunut siellä esiintyneen katkan perusteella. Myös itäisen haaran surviaissääsken toukat kertovat siitä, että sedimentti ei ole saastunut. Tutkimuksessa huomautetaan, että virallinen pohjaeläinluokitus ei aina sovi hyvin pieniin virtavesiin. Itäisen haaran pohjavesiyhteisö on luonnostaan vähälajinen, ja siksi tutkimuksessa arvioidaan itäisen haaran kuuluvan todellisuudessa tyydyttävään ekologiseen luokkaan. Itäisen haaran fysikaalis-kemiallinen tila on tulosten mukaan tyydyttävä.

Itäisessä haarassa on tehty Kylmäojan korven alueella jatkuvatoimista veden laadun seurantaa ja otettu vesinäytteitä kesällä 2010 sekä lumen sulamisesta aiheutuvan kevätvalunnan aikaan vuosina 2011 ja 2012 (Valkama 2012). Tulosten mukaan veden laatu vaihtelee suuresti eri virtaamatilanteissa johtuen savisesta maaperästä ja

hulevesistä. Sameus ja sähkönjohtavuus vaihtelevat sekä puroveden hygieeninen laatu on ajoittain heikko. Puron vesi on luontaisesti sameaa savisesta maaperästä johtuen, mutta sameuteen vaikuttaa myös itähaaran yläjuoksulla tapahtuva rakennustoiminta. Hulevesien tasausaltaiden (ks. kohta 3.3.1) rakentaminen näkyi uoman veden merkittävänä samentumisena keväällä 2011, mikä näkyy myös kuvissa 12 ja 13.



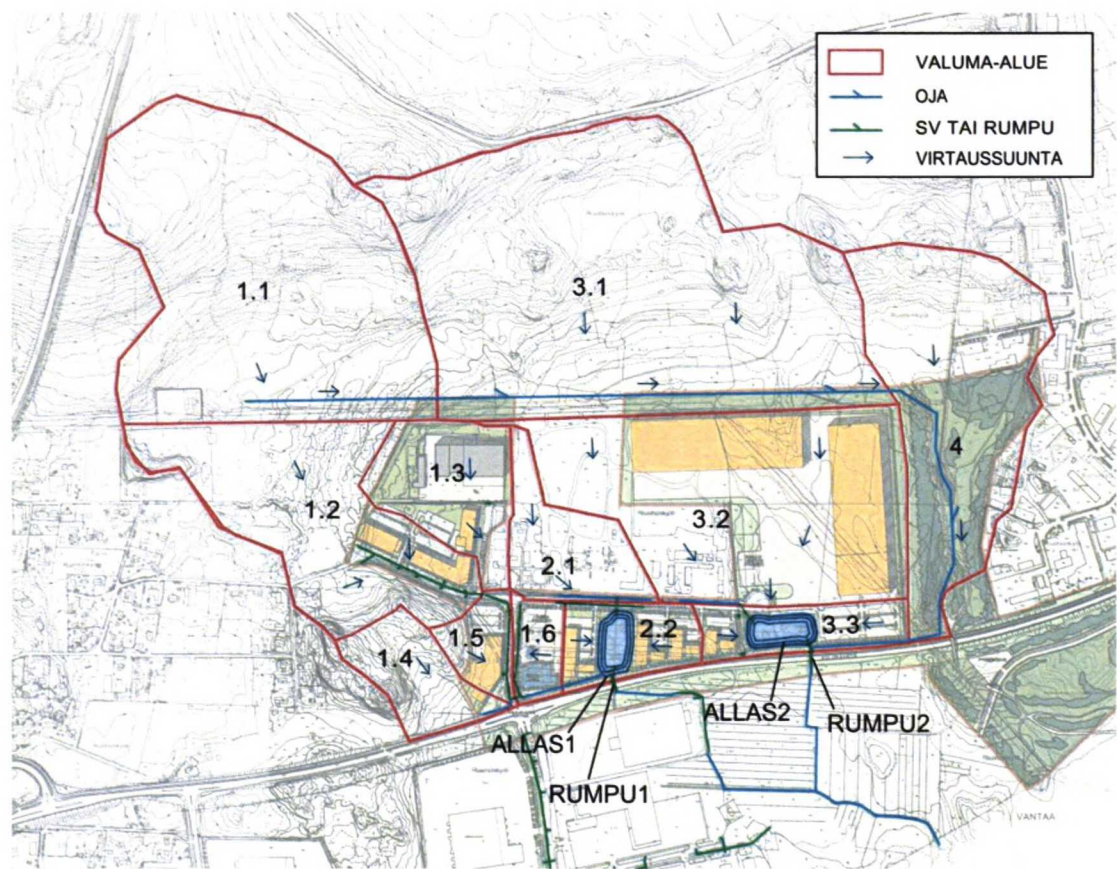
Kuvat 12 ja 13. Tuusulan tasausaltaiden rakentamisen aiheuttama samentunut vesi Kylmäojan itähaarassa korven pohjoispuolella sekä kiintoaineen tukkima rumpu itäaltaan eteläpuolella keväällä 2011. (Valkama 2012)

Sähkönjohtavuuden havaittiin olevan Kylmäojan korven kohdalla puron vedessä korkeimmillaan maaliskuun alkupuoliskolla lumen sulamisen alussa. Tämä johtuu luultavasti valunnasta, joka on peräisin suolatuilta tie- ja piha-alueilta sulavasta lumesta. Vedestä tehdyt bakteerimääritykset sekä kokonaisfosforin ja ammoniumtypen arviointi viittasivat merkittävään jätevesikuormitukseen länsialtaan kohdalla. Kylmäojan itäistä haaraa kuormittavat Tuusulassa sijaitsevan Kulomäentien työpaikka-alueen hulevedet sekä sivuhaaran päässä sijaitsevan Kulokukkulan täyttömäen suotovedet. Tuusulan työpaikka-alueilta ja teiltä kulkeutuu uomaan muun muassa kloridia ja sulfaattia. Työpaikka-alueella on yritystoimintaa, joka ei ole liittynyt viemäriverkostoon. Kulokukkulan täyttömäeltä huuhtoutuu Kylmäojan itähaaraan erityisesti typpiyhdisteitä. Hyvällä hulevesien hallinnalla sekä maankäytön suunnittelulla uomaan kulkeutuvia haitallisia aineita voitaisiin vähentää.

3.3 Tutkimusalueen hulevedenhallintajärjestelmät

3.3.1 Tuusula

Tuusulassa sijaitsevalle Kulomäentien työpaikka-alueelle on rakennettu kaksi hulevesien tasausallasta (kuva 14). Altaiden on tarkoitus tasata teollisuusalueelta tulevia hulevesivirtaamia luonnontilaista vastaaviksi ja ne toimivat öljynerottimina työpaikka-alueen mahdollisten öljypäästöjen varalta. Luonnontilaisilta alueilta (kuvassa alueet 1.1, 3.1 ja 4) valuvat vedet on johdettu niskaojalla altaiden ohi. Hulevedet kerätään altaisiin sekä avo-ojien että viemäreiden avulla. Jusslan työpaikka-alue on hulevesiviemäroity ja vedet laskevat suoraan laskuojiin.



Kuva 14. Tuusulan tasausaltaat (FCG 2010b).

Tasausaltaiden tehtävä on pitää virtausolosuhteet Kylmäojan korven kohdalla mahdollisimman luonnonmukaisina. Niitä ei ole suunniteltu tasaamaan ja hallitsemaan koko Kylmäojan itähaaran virtaamia. Altaat on mitoitettu kerran 10 vuodessa toistuvalla kolmen tunnin sateella. Altaan 1 mitoitustilavuus on 2200 m³ ja altaan 2 on 2700 m³. (FCG 2010b)

Altaissa on kolmivaiheinen purkurakenne. Alin purkuaukko, halkaisijaltaan 200 mm, tasoittaa vuosittain toistuvien sateiden aiheuttamaa virtaamaa sekä tyhjentää allasta sadetapahtumien välissä. Putkesta tulee vettä maksimissaan 60 l/s (Kaupunkiliitto 1979). Sen yläpuolella oleva toinen purkuaukko, halkaisijaltaan 350 mm, soveltuu yhdessä alimman aukon kanssa kerran 10 vuodessa toistuvan virtaaman tasoittamiseen. Tästä putkesta tulee vettä maksimissaan 100 l/s (Kaupunkiliitto 1979). Ylimpänä sijaitsee ylivuototaso, jolla mitoituksen ylittävät erittäin harvoin esiintyvät virtaamat ohjataan hallitusti järjestelmän läpi, sekä altaissa on myös vesilukko (FCG 2010b). Kuvissa 15 ja 16 on esitetty altaat.



Kuvat 15 ja 16. Tuusulan tasausaltaat. Oikealla allas 1 (länsiallas) ja vasemmalla allas 2 (itäallas).

3.3.2 Vantaa

Vantaalle rakennettavalla Leinelän asuinalueella on tavoitteena imeyttää tai kuljettaa avouomissa suuri osa syntyvistä hulevesistä, jotta rakentaminen vaikuttaisi mahdollisimman vähän Kylmäojan itähaaran virtaamaan ja ekologiaan. Imeytys toteutetaan imeytyspainanteilla. Sadevesiviemärointi rakennetaan vain tonteille, joissa hulevesien pintakuljetus ei onnistu. Viemäroidyistä sadevesistä osa johdetaan Kylmäojan itäiseen haaraan, vaikkakin suuri osa johdetaan läheiseen Rekolanojaan. Koivukylän väylän pohjoispuoli sekä Ilola on perinteisellä tavalla hulevesiviemäroity.

4 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

4.1 Puron mitoitusvirtaaman määrittäminen

Puroa mallinnettiin huippuvirtaaman aikaan, joka aiheutuu kevätsateista ja lumien sulamisesta. Tämän takia puron valuma-alueelle arvioitiin kevätylivaluma. Kevätylivalumien perusteella arvioitiin puron huippuvirtaama eri tulvatoistuvuuksilla eri skenaarioissa. Mitoitusvirtaama määritettiin kuudelle eri skenaariorille, jotka ovat seuraavanlaiset:

- Nykytilanne mitoitusvirtaamilla
- Vuosi 2030 ottaen huomioon kaupungistumisen vaikutuksen
- Vuosi 2030 ottaen huomioon ilmastonmuutoksen vaikutuksen
- Vuosi 2030 ottaen huomioon sekä kaupungistumisen että ilmastonmuutoksen vaikutukset
- Vuosi 2030 ottaen huomioon kaupungistumisen, ilmastonmuutoksen sekä tasaustaiden täydellisen vedenpidätyksen vaikutukset
- Herkkyysanalyysi.

Kaikissa skenaarioissa on otettu huomioon Tuusulan tasaustaiden vaikutus valumaan siten, että kummastakin tasaustaasta tulee vettä puroon maksimissaan 160 l/s (ks. kohta 3.3.1). Itäisen työpaikka-alueen valuma-alueella on myös luonnontilaista aluetta 0,88 km² (kuva 13), josta tuleva huippuvirtaama on laskettu samoin kuin muiltakin valuma-alueilta. Itäisen työpaikka-alueen osavaluma-alueen luonnontilaiselta alueelta tuleva vesi on johdettu itäaltaan ohi. Tämän johdosta itäisen työpaikka-alueen osavaluma-alueelta voi tulla puroon vettä enemmän kuin 160 l/s, mutta itäaltaasta tuleva vesimäärä ei ylitä tätä lukua.

4.1.1 Mitoitusylivirtaama nykytilanteessa

Nykytilanteen kevätylivaluma arvioitiin käyttäen Seunan (1983) kehittämää kevätkauden keskiylivaluman nomogrammia järveltömille pienille valuma-alueille (kuva 17). Nomogrammi perustuu laajaan aineistoon, jossa on tutkittu 37 pientä järvetöntä valuma-aluetta vuodesta 1958 vuoteen 1977 (Seuna 1982). Tutkitut valuma-

alueet sijaitsivat ympäri Suomea. Valuma-alueiden pinta-ala oli keskimäärin 18,27 km² ja kaltevuus 5,8 %. Valuma-alueilla oli keskimäärin peltoa 18,5 %, suota 22,1 % ja kangasmetsää 57,9 %. Puustoa valuma-alueilla oli keskimäärin 52,9 m³/ha.

Kevätylivaluma arvioidaan nomogrammilla valuma-alueen koon, purkautumiskohdan korkeuden merenpinnasta sekä alueen puuston kuutiomäärän mukaan. Nomogrammin avulla saa arvioitua karkeasti pienten järveltömien valuma-alueiden keski-kevätylivaluman. Myös Kylmäoan pääuoman mallinnuksessa (FCG 2010a) on käytetty Seunan (1983) nomogrammia kevätkauden keskiylivaluman arviointiin.

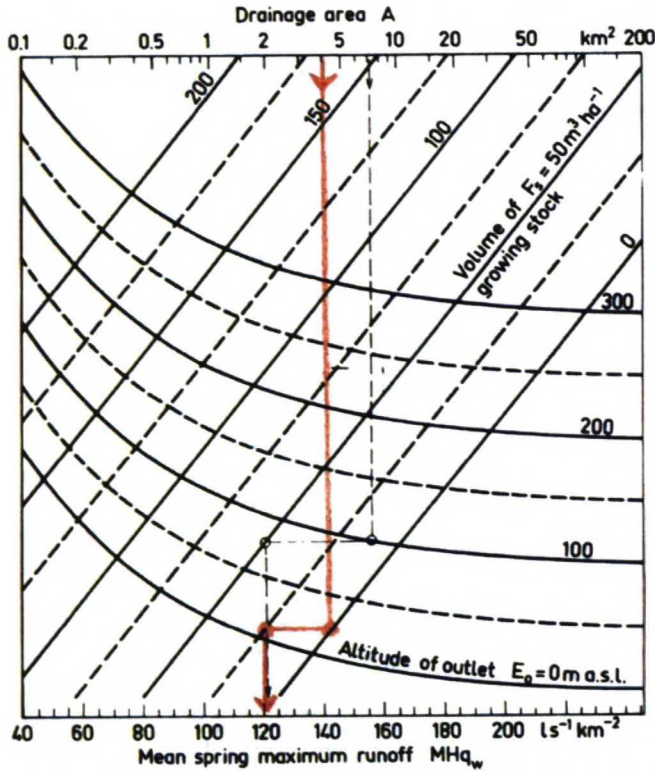
Nomogrammin käytössä on kuitenkin epävarmuutensa. Nomogrammissa ei oteta erikseen huomioon valuma-alueen lumen määrää, sateisuutta tai maankäyttöä, vaan nämä arvot on otettu mittautustietojen keskiarvoina huomioon nomogrammia suunniteltaessa. Tästä johtuen nykytilanteen mitoitusvirtaamaa määritettäessä ei tämän hetkistä kaupungistuneisuutta oteta erikseen huomioon, vaan oletetaan sen olevan lähellä nomogrammiin sisällytettyä keskiarvoa. Seunan (1982) nomogrammia varten tutkimat valuma-alueet eivät olleet kaupungistuneita, joten nomogrammin avulla lasketut kevätylivalumat voivat siis olla todellista pienemmät. Kaupungistuminen otetaan työssä huomioon vasta 2030 tilanteessa, jossa läpäisemätön pinta on lisääntynyt 78 % nykytilanteeseen verrattuna.

Rakennetuilla alueilla usein aurataan lunta tie- ja piha-alueilta pois. Tämä voi aiheuttaa epävarmuuksia kevätylivalunnan laskemiseen. Jos auratut lumet viedään kokonaan valuma-alueelta pois, kevätylivalunta pienenee. Jos taas lumi kasataan valuma-alueen metsäalueille, kevätylivalunta hidastuu. Jos valuma-alueelle tuodaan lunta muualta, valunta kasvaa.

Nomogrammilla lasketaan yksi yhteinen mitoitusvirtaama-arvo koko itähaaran valuma-alueelle. Nomogrammin käyttö on huomattavasti epäluotettavampaa hyvin pienille valuma-alueille ja siksi työssä ei lasketa mitoitusvirtaamaa erikseen jokaiselle osavaluma-alueelle. Työssä oletetaan, että kaupungistuminen jakautuu tasaisesti valuma-alueelle, vaikka todellisuudessa se on hyvin paikallista eri osavaluma-alueiden kesken.

Kylmäojan itäisen haaran valuma-alueen arvot ovat seuraavat (kuva 17):

- Valuma-alueen pinta-ala $A = 3,9 \text{ km}^2$
- Purkautumiskohdan korkeus merenpinnasta $E_0 = 22 \text{ m}$
- Arvioitu puuston keskitilavuus alueella $F_s = 25 \text{ m}^3/\text{ha}$.



Kuva 17. Seunan (1983) nomogrammi. Kevätylivaluma arvioidaan nomogrammilla valuma-alueen koon (A), purkautumiskohdan korkeuden merenpinnasta (E_0) sekä alueen puuston keskitilavuuden (F_s) mukaan. Punainen viiva kuvaa Kylmäojan itähaaran arvoilla saatua kevätkeskiylivalumaa.

Kevätkeskiylivaluma voidaan myös laskea kaavalla 10 (Seuna 1983).

$$MHq_w = -0.91F_s + 0.33E_0 + \frac{21}{\sqrt{A}} + 125, \quad (10)$$

missä MHq_w on kevätkeskiylivaluma [l/s/km^2], F_s on puuston keskitilavuus [m^3/ha], E_0 on purkautumiskohdan korkeus merenpinnasta [m] ja A on valuma-alueen pinta-ala [km^2].

Nomogrammista ja kaavasta 10 saadun arvion mukaan Kylmäojan itähaaran valuma-alueella kevätkeskiylivaluma (MHq_w) on 120 l/s/km². Kerran 5, 10, 20, 50 ja 100 vuodessa toistuvat kevätlylivalumat saadaan kertomalla kevätkeskiylivaluma (MHq_w) vastaavasti Seunan (1983) määrittämällä kertoimilla 1,4, 1,6, 1,9, 2,2 ja 2,5. Kevätlylivilirtaamat saadaan kertomalla kevätlylivalumat pinta-alalla (kaava 11).

$$HQ_{1/x} = (MHq_w)aA , \tag{11}$$

missä $HQ_{1/x}$ on kevätlylivilirtaama tietyllä toistuvuudella [l/s] ja a on Seunan (1983) määrittämä kerroin. Kylmäojan itähaaran valuma-alueen mitoituskevätlylivalumiksi saadaan seuraavat arvot:

- 120 l/s/km² kerran 1 vuodessa
- 168 l/s/km² kerran 5 vuodessa
- 192 l/s/km² kerran 10 vuodessa
- 228 l/s/km² kerran 20 vuodessa
- 264 l/s/km² kerran 50 vuodessa
- 300 l/s/km² kerran 100 vuodessa.

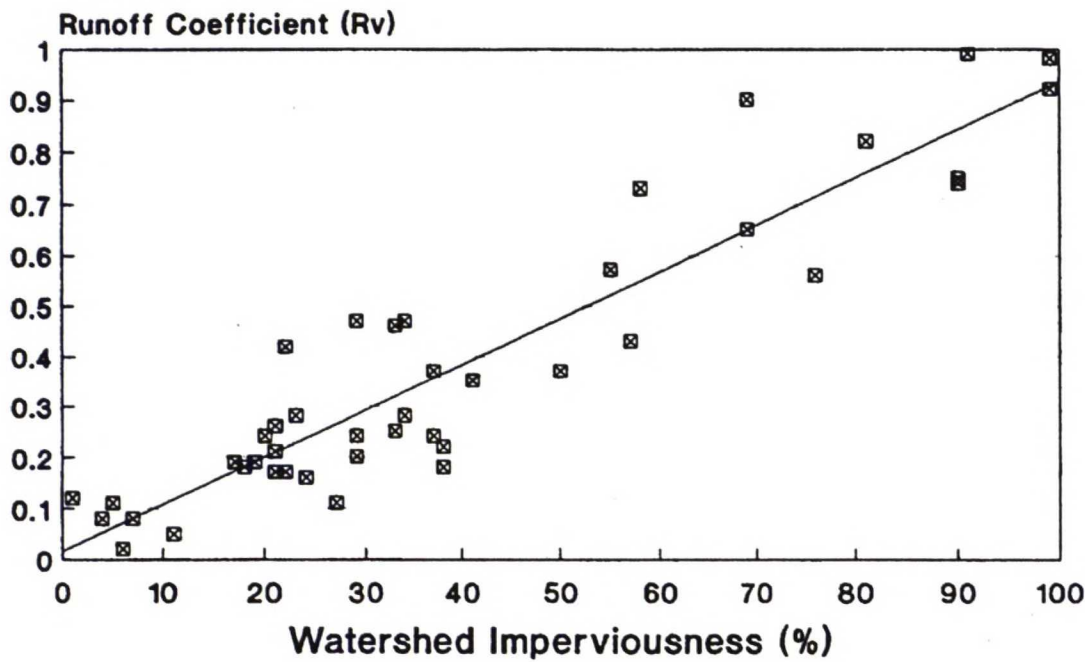
Osavaluma-alueille määritettiin oma mitoitusvirtaamansa niiden pinta-alojen sekä koko valuma-alueelle laskettujen kevätlylivalumien suhteena. Osavaluma-alueille määritettiin mitoitusvirtaamat kerran 1, 5, 10, 20, 50 ja 100 vuodessa (taulukko 3).

Taulukko 3. Kylmäojan itähaaran osavaluma-alueet, pinta-alat [km²] ja kevätlylivilirtaamat [l/s] nykytilanteessa.

| Osavaluma-alue | Pinta-ala | HQ _{1/1} | HQ _{1/5} | HQ _{1/10} | HQ _{1/20} | HQ _{1/50} | HQ _{1/100} |
|------------------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Itäinen työpaikka-alue | 1.22 | 146 | 205 | 234 | 278 | 322 | 366 |
| Länsiallas | 0.23 | 28 | 39 | 44 | 52 | 61 | 69 |
| Kylmäojan korpi | 0.59 | 71 | 99 | 113 | 135 | 156 | 177 |
| Sivuhaara | 0.80 | 96 | 134 | 154 | 182 | 211 | 240 |
| Ilola | 0.62 | 74 | 104 | 119 | 141 | 164 | 186 |
| Leinelä | 0.39 | 47 | 66 | 75 | 89 | 103 | 117 |
| Koko valuma-alue | 3.85 | 462 | 647 | 739 | 878 | 1 016 | 1 155 |

4.1.2 Ylivirtaama vuonna 2030: kaupungistumisen vaikutus

Valuma-alueen läpäisemättömän pinnan kasvun vaikutus valumaan on arvioitu Schuelerin (1994) kehittämän valuma-alueen läpäisemättömyyden ja valumakertoimen suhteen perusteella (kuva 18). Kaavion tiedot on kerätty tutkimalla valumaa ja läpäisemättömän pinnan määrää yli 40 alueella Yhdysvalloissa.



Kuva 18. Tutkittujen valuma-alueiden läpäisemättömän pinnan määrän ja valumakertoimen suhde. (Schueler 1994)

Vuonna 2012 Kylmäojan valuma-alueesta arvioidaan olevan läpäisemätöntä pintaa 9 % ja vuonna 2030 vastaavasti 16 %. Valumakerroin on siten vuonna 2012 Schuelerin (1994) kaavion mukaan 0,09 ja vuonna 2030 vastaavasti 0,16. Vuonna 2030 valuman arvioidaan siis olevan 1,78 kertaa suurempi kuin vuonna 2012.

Schuelerin (1994) kehittämässä läpäisemättömän pinnan ja valumakertoimen suhteessa on epävarmuuksia. Läpäisemättömän pinnan määrän avulla saadaan arvio valumakertoimesta, mutta se riippuu myös muista tekijöistä. Valumakertoimeen vaikuttaa lisäksi valuma-alueen maalaji sekä maan kaltevuus ja kasvillisuus. Näitä tekijöitä ei ole otettu erikseen huomioon tässä työssä valumakerrointa arvioitaessa.

Kaupungistumisen vaikutus kevätylivalumaan on laskettu kertomalla Seunan nomogrammin avulla saadut nykyhetken kevätylivaluma-arvot 1,78:lla. Nomogrammin sekä lähtötietojen rajallisuudesta johtuen työssä ei lasketa kaupungistumisen astetta erikseen osavaluma-alueille, vaan oletetaan koko itähaaran valuma-alueen kaupungistuvan yhtäläisesti. Tämä voi vääristää arvioitua huippuvirtaamaa vuodelle 2030, sillä todellisuudessa kaupungistuminen tulee olemaan melko paikallista. Valuma-alueella on eniten läpäisemätöntä pinta-alaa länsialtaan osavaluma-alueessa sekä Leinelän osavaluma-alueessa Ilolan kohdalla. Näihin alueisiin aiotaan myös rakentaa lisää läpäisemätöntä pintaa. Korven ja sivuhaaran alue taas tulevat säilymään melko luonnontilaisina. Tämän johdosta korven ja sivuhaaran osavaluma-alueille arvioidut huippuvirtaamat voivat olla liian suuret, ja vastaavasti Leinelän ja Länsialtaan huippuvirtaamat voivat olla liian pienet.

Kun kaupungistumisen vaikutus otetaan huomioon valuma-alueelle tasaisesti, vuodelle 2030 saadaan mitoituskevätylivalumille seuraavat arvot:

- 214 l/s/km² kerran 1 vuodessa
- 299 l/s/km² kerran 5 vuodessa
- 342 l/s/km² kerran 10 vuodessa
- 406 l/s/km² kerran 20 vuodessa
- 470 l/s/km² kerran 50 vuodessa
- 534 l/s/km² kerran 100 vuodessa.

Taulukosta 4 nähdään osavaluma-alueiden pinta-alat ja kevätylivirtaamat vuonna 2030, kun kaupungistumisen vaikutus otetaan huomioon.

Taulukko 4. Osavaluma-alueiden pinta-alat [km²] ja kevätylivirtaamat [l/s] vuonna 2030, kun kaupungistumisen vaikutus otetaan huomioon.

| Osavaluma-alue | Pinta-ala | HQ _{1/1} | HQ _{1/5} | HQ _{1/10} | HQ _{1/20} | HQ _{1/50} | HQ _{1/100} |
|------------------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Itäinen työpaikka-alue | 1.22 | 261 | 365 | 417 | 495 | 573 | 630 |
| Länsiallas | 0.23 | 49 | 69 | 79 | 93 | 108 | 123 |
| Sivuhaara | 0.80 | 171 | 239 | 273 | 325 | 376 | 427 |
| Kylmäojan korpi | 0.59 | 126 | 176 | 202 | 239 | 277 | 315 |
| Ilola | 0.62 | 132 | 185 | 212 | 252 | 291 | 331 |
| Leinelä | 0.48 | 103 | 144 | 164 | 195 | 226 | 256 |
| Koko valuma-alue | 3.94 | 842 | 1 178 | 1 347 | 1 599 | 1 851 | 2 082 |

4.1.3 Ylivirtaama vuonna 2030: ilmastonmuutoksen vaikutus

Ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointiin käytettiin ilmatieteen laitoksella arvioituja sadantamuutoksia Vantaalle vuodeksi 2030 (Ruosteenoja 2012). Sademäärän, sadepäivien määrän sekä sateen intensiteetin muuttumista on arvioitu malliennusteiden perusteella vuoden 2030 jokaiselle kuukaudelle. Muutosten vertailukohtana on vuosien 1980-2009 keskimääräinen tilanne. Taulukosta 5 nähdään yllämainittujen sadantatietojen muutokset prosentteina Vantaalla vuonna 2030 verrattuna vuosien 1980-2009 keskimäärään. Sademäärän ja sadepäivien lukumäärän arvioidaan kesäkuukausina vähenevän, ja muina kuukausina kasvavan. Sadannan intensiteetti kuitenkin kasvaa kaikkina kuukausina.

Taulukko 5. Ennustettuja sadantamuutoksia prosentteina (%) Vantaalle vuonna 2030 verrattuna vuosien 1980-2009 keskimäärään. (Ruosteenoja 2012)

| Vuosi 2030 | Muutos % |
|----------------------|--------------|
| Sademäärä | -1.3 ... 6.5 |
| Sadepäivien lkm. | -1.7 ... 5.7 |
| Sateen intensiteetti | 1.7 ... 5.7 |

Taulukon 5 mukaan sadannan intensiteetti kasvaa vuoteen 2030 mennessä kuukaudesta riippuen noin 2...6 %. Virtaama vuodelle 2030 laskettiin suurimman ennustetun sateen intensiteetin kuukausimuutoksen (6 %) mukaan. Todellisuudessa valuma voi kasvaa suhteellisesti enemmän kuin sateen intensiteetti. Kun sateen intensiteetti kasvaa, maan vesivarastot voivat täyttyä nopeammin ja vedenpidätyskyky heikentyä, jolloin vettä

valuu suhteellisesti enemmän maan pinnalla. Laskennassa kuitenkin oletettiin, että valuma kasvaa suhteellisesti yhtä paljon kuin sateen intensiteetti. Kun ilmastonmuutoksen vaikutus otetaan huomioon, saadaan vuodelle 2030 kevätylivalumille seuraavat mitoitusarvot:

- 127 l/s/km² kerran 1 vuodessa
- 178 l/s/km² kerran 5 vuodessa
- 204 l/s/km² kerran 10 vuodessa
- 242 l/s/km² kerran 20 vuodessa
- 280 l/s/km² kerran 50 vuodessa
- 318 l/s/km² kerran 100 vuodessa.

Taulukosta 6 nähdään kevätylivalumien perusteella lasketut osavaluma-alueiden kevätylivirtaamat vuonna 2030, kun ainoastaan ilmastonmuutoksen vaikutus otetaan huomioon.

Taulukko 6. Osavaluma-alueiden pinta-alat [km²] ja kevätylivirtaamat [l/s] vuonna 2030, kun ilmastonmuutoksen vaikutus otetaan huomioon.

| Osavaluma-alue | Pinta-ala | HQ _{1/1} | HQ _{1/5} | HQ _{1/10} | HQ _{1/20} | HQ _{1/50} | HQ _{1/100} |
|------------------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Itäinen työpaikka-alue | 1.22 | 155 | 217 | 248 | 295 | 341 | 388 |
| Länsiallas | 0.23 | 29 | 41 | 47 | 56 | 64 | 73 |
| Sivuhaara | 0.80 | 102 | 142 | 163 | 193 | 224 | 254 |
| Kylmäojan korpi | 0.59 | 75 | 105 | 120 | 143 | 165 | 188 |
| Ilola | 0.62 | 79 | 110 | 126 | 150 | 174 | 197 |
| Leinelä | 0.48 | 61 | 85 | 98 | 116 | 134 | 153 |
| Koko valuma-alue | 3.94 | 501 | 702 | 802 | 952 | 1 103 | 1 253 |

4.1.4 Ylivirtaama vuonna 2030: kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus

Kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus saadaan kertomalla valuman kasvua kaupungistumisesta ja ilmastonmuutoksesta kuvaavat kertoimet keskenään. Kaupungistumisen arvioidaan aiheuttavan vuodelle 2030 valumaan 78 % kasvun ja

ilmastonmuutoksen 6 % kasvun. Niiden yhteisvaikutuksesta valuman arvioidaan kasvavan 89 % nykytilanteeseen verrattuna ($1,78 * 1,06 = 1,89$). Kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus huomioon ottaen mitoituskävytylivalumiksi vuodelle 2030 saadaan:

- 221 l/s/km² kerran 1 vuodessa
- 309 l/s/km² kerran 5 vuodessa
- 353 l/s/km² kerran 10 vuodessa
- 420 l/s/km² kerran 20 vuodessa
- 486 l/s/km² kerran 50 vuodessa
- 552 l/s/km² kerran 100 vuodessa.

Taulukossa 7 on esitetty kävytylivalumien perusteella lasketut mitoitusvirtaamat vuonna 2030, kun sekä kaupungistumisen, että ilmastonmuutoksen vaikutus otetaan huomioon.

Taulukko 7. Osavaluma-alueiden pinta-alat [km²] ja kävytylivotraamat [l/s] vuonna 2030, kun sekä kaupungistumisen, että ilmastonmuutoksen vaikutus otetaan huomioon.

| Osavaluma-alue | Pinta-ala | HQ _{1/1} | HQ _{1/5} | HQ _{1/10} | HQ _{1/20} | HQ _{1/50} | HQ _{1/100} |
|------------------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Itäinen työpaikka-alue | 1.22 | 276 | 387 | 442 | 525 | 598 | 658 |
| Länsiallas | 0.23 | 52 | 73 | 83 | 99 | 115 | 130 |
| Sivuhaara | 0.80 | 181 | 254 | 290 | 344 | 398 | 453 |
| Kylmäoan korpi | 0.59 | 134 | 187 | 214 | 254 | 294 | 334 |
| Ilola | 0.62 | 140 | 197 | 225 | 267 | 309 | 351 |
| Leinelä | 0.48 | 109 | 152 | 174 | 206 | 239 | 272 |
| Koko valuma-alue | 3.94 | 892 | 1 249 | 1 427 | 1 695 | 1 953 | 2 198 |

4.1.5 Ylivotraama vuonna 2030: kaupungistumisen, ilmastonmuutoksen sekä tasausaltaiden vedenpidätyksen yhteisvaikutus

Tässä skenaariossa otetaan huomioon kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen lisäksi Tuusulassa Kulomäentien työpaikka-alueella sijaitsevien tasausaltaiden hulevesien pidätysmahdollisuus. Työssä tarkastellaan ääritilanteita, ja siksi kävytylivotraamia arvioitaessa on altainen oletettu tässä skenaariossa pidättävän kaikki niihin valuvat

vedet. Tällöin ainoastaan itäisen työpaikka-alueen luonnontilaiselta alueelta tulevat vedet pääsevät valumaan altaiden ohi korpeen.

Skenaariossa on käytetty samoja mitoituskävytylivalumien arvoja, kuin kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen yhteisvaikutusskenaariossa. Taulukossa 8 on esitetty kävytylivalumien perusteella lasketut mitoituskävytylivaamat vuonna 2030, kun kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen vaikutukset sekä hulevesien tasausaltaiden täydellinen vedenpidätys otetaan huomioon.

Taulukko 8. Osavaluma-alueiden pinta-alat [km²] ja kävytylivaamat [l/s] vuonna 2030, kun kaupungistumisen, ilmastomuutoksen ja tasausaltaiden täydellisen vedenpidätyksen vaikutus otetaan huomioon.

| Osavaluma-alue | Pinta-ala | HQ _{1/1} | HQ _{1/5} | HQ _{1/10} | HQ _{1/20} | HQ _{1/50} | HQ _{1/100} |
|------------------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Itäinen työpaikka-alue | 1.22 | 199 | 279 | 319 | 379 | 438 | 498 |
| Länsiallas | 0.23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sivuhaara | 0.80 | 181 | 254 | 290 | 344 | 398 | 453 |
| Kylmäojan korpi | 0.59 | 134 | 187 | 214 | 254 | 294 | 334 |
| Ilola | 0.62 | 140 | 197 | 225 | 267 | 309 | 351 |
| Leinelä | 0.48 | 109 | 152 | 173 | 206 | 239 | 272 |
| Koko valuma-alue | 3.94 | 763 | 1 069 | 1 221 | 1 450 | 1 678 | 1 908 |

4.1.6 Herkkyysanalyysi

Kävytylivaamien määrittämiseksi käytettyihin menetelmiin liittyy huomattavia epävarmuuksia, joiden johdosta arvioidut huippuvaamat voivat olla liian pieniä tai suuria. Seunan (1983) nomogrammi ei välttämättä kuvaa hyvin osittain kaupungistuneen alueen valumaa ja lisäksi kaupungistuminen ja ilmastomuutos voivat vaikuttaa valumaan enemmän tai vähemmän, kuin työssä on arvioitu.

Herkkyysanalyysillä pyritään selvittämään, kuinka 20 % suurempi virtaama kuin kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen yhteisvaikutusskenaariossa on arvioitu, vaikuttaisi puron tulvimiseen. Toisin sanoen taulukon 7 arvot on kerrottu luvulla 1,2 kaikilla muilla valuma-alueilla, paitsi altaiden osavaluma-alueilla. Altaiden on oletettu laskevan vettä 160 l/s, mutta itäaltaan luonnontilaiselta alueelta valuva vesi on laskettu samoin, kuin muillakin valuma-alueilla.

Kaupungistumisen, ilmastonmuutoksen sekä tasausaltaiden täydellisen vedenpidätyksen yhteisvaikutusskenaariossa on kuvattu puron toimintaa, kun kevätylivirtaama on noin 15 % pienempi, kuin pelkässä kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutusskenaariossa. Jos herkkyysanalyysi olisi tehty myös 20 % pienemmillä virtaamilla kuin kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutusskenaariossa, olisivat virtaamat olleet lähes samansuuruiset kuin kaupungistumisen, ilmastonmuutoksen ja tasausaltaiden täydellisen vedenpidätyksen yhteisskenaariossa. Tämän johdosta, sekä siksi että työn tarkoituksena on tarkastella maksimivirtaamatilanteita, ei herkkyysanalyysia tehdä kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen skenaariossa arvioituja pienemmille virtaamille.

Taulukossa 9 on esitetty kevätylivalumien perusteella lasketut mitoitusvirtaamat vuonna 2030, kun kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen vaikutuksesta kasvaneita huippuvirtaamia on kasvatettu 20 % herkkyysanalyysia varten. Mitoitusvirtaamien määrittämisessä on otettu huomioon Tuusulan tasausaltaiden vaikutus siten, että ne laskevat vettä enintään 160 l/s. Itäaltaan valuma-alueella on myös luonnontilaista aluetta 0,88 km², josta tuleva huippuvirtaama on laskettu samoin, kuin muiltakin valuma-alueilta.

Taulukko 9. Osavaluma-alueiden pinta-alat [km²] ja kevätylivirtaamat [l/s] vuonna 2030, kun kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen vaikutuksesta kasvaneita huippuvirtaamia on kasvatettu 20 % herkkyysanalyysia varten.

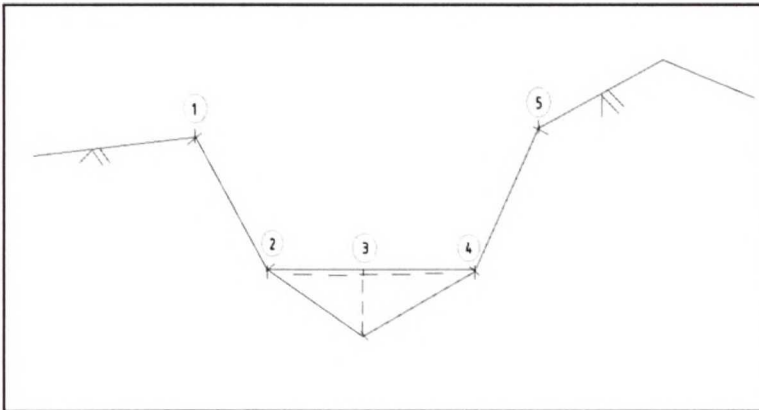
| Osavaluma-alue | Pinta-ala | HQ _{1/1} | HQ _{1/5} | HQ _{1/10} | HQ _{1/20} | HQ _{1/50} | HQ _{1/100} |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Itäaallas | 1.22 | 331 | 464 | 530 | 614 | 686 | 758 |
| Länsiaallas | 0.23 | 62 | 87 | 100 | 119 | 137 | 156 |
| Sivuhaara | 0.80 | 217 | 304 | 348 | 413 | 478 | 543 |
| Kylmäojan korpi | 0.59 | 160 | 224 | 256 | 305 | 353 | 401 |
| Ilola | 0.62 | 168 | 236 | 270 | 320 | 371 | 421 |
| Leinelä | 0.48 | 130 | 183 | 209 | 248 | 287 | 326 |
| Koko valuma-alue | 3.94 | 1 070 | 1 499 | 1 713 | 2 018 | 2 312 | 2 605 |

4.2 Virtausmallin muodostaminen

4.2.1 Virtausmallin rakentaminen

Kylmäojan itäisellä haaralla suoritettiin maastomittauksia tammikuussa 2012. Tutkimuksessa mitattiin uoman pituusprofiili ja uoman poikkileikkaukset 68 kohdalta sekä sivuhaarasta 18 kohdalta. Poikkileikkauksia mitattiin 50...100 metrin välein koko puron pituudelta, varsinkin kohdissa, joissa uoman leveys tai maanpinnan korkeus muuttuu huomattavasti. Uoman poikkileikkaus mitattiin havaintokohdassa viidestä pisteestä (kuva 19):

- Vasemman reunan ylätaite (1)
- Vasen alataite/vesiraja (2)
- Uoman pohja keskeltä (3)
- Oikea alataite/vesiraja (4)
- Oikean reunan ylätaite (5).



Kuva 19. Uoman poikkileikkauksen mittapisteet. (Vantaan kaupunki 2011)

Maastomittauksissa määritettiin myös uoman 13 rummun sekä sivuhaaran 2 rummun sijainnit, koot ja materiaalit. Samalla määritettiin purossa sijaitsevan silta-aukon mitat. Rummut ja silta mitattiin ylä- ja alavirran puolelta. Niistä kirjattiin seuraavat tiedot ylös:

- Rummun/sillan materiaali
- Rumpuputken/silta-aukon halkaisija ja muoto
- Uoman pohjan ja aukon korkeus keskilinjassa
- Aukon yläpuolisen reunan/maavallin korkeus/tienpinnan korkeus.

Maastomittauksista saadut lähtöarvot poikkileikkauksista syötettiin malliin. Malli rakennettiin virtaussuunnan mukaisesti pohjoisesta etelään. Ensimmäinen poikkileikkaus on Tuusulan puolella Kulomäentien työpaikka-alueella (kuva 20) ja viimeinen poikkileikkaus sijaitsee Vantaan Ruskeasannassa Purotien eteläpuolella (kuva 21). Malliin täydennettiin myös Kulokukkulan sivuhaara, jonka ensimmäinen poikkileikkaus on lähellä Kulokukkulaa. Viimeinen sivuhaaran poikkileikkaus sijaitsee Kylmäojan korven eteläreunassa, jossa se liittyy itäiseen haaraan. Tuusulan tasausaltaita ei rakennettu malliin, sillä malli on suunniteltu mallintamaan uomia. Tasausaltaista tuleva virtaama sen sijaan otettiin mallinnuksessa huomioon huippuvirtaamia arvioitaessa.

Seuraavaksi malliin lisättiin rummut ja silta. Rumpujen sisääntulon häviökertoimeksi oletettiin $k_1 = 0,5$ ja ulostulon häviökertoimeksi $k_2 = 1,0$ (Brunner 2010a). Rumpuputkien karkeuskerroin on määritelty niiden materiaalien mukaan (Brunner 2010a):

- Muoviset rummut $n = 0,015$
- Metalliset rummut $n = 0,019$
- Betonirummut $n = 0,012$ (Brunner 2010a).

Vuonna 2030 Kehäradan rakentaminen on saatettu loppuun, jolloin uoman rumpuihin on tehty rakentamisen yhteydessä muutoksia. Nämä muutokset on tehty myös malliin vuoden 2030 skenaarioita varten. Kaikissa vuoden 2030 skenaarioissa malliin on vaihdettu paalun 702 väliaikaisten metallirumpujen (2*400 mm) tilalle betonirumpu, jonka halkaisija on 1 200 mm. Paaluilla 1108 ja 824 sijaitsevat rummut on perattu. Nämä ovat toimenpiteitä, jotka tullaan suorittamaan Kehäradan rakentamisen aikana. Mallin poikkileikkaukset, rummut sekä silta on esitetty liitteessä 1.

Tässä työssä malliin asetetaan yläpuoliseksi reunaehdoksi jokaisen osavaluma-alueen kohdalla syötettävät virtaamat, joiden laskenta esitettiin yllä kohdassa 4.1. Alapuoliseksi reunaehdoksi asetettiin uoman päätöspisteen vedenpinnan tasot. Reunaehdot on kuvattu tarkemmin kohdassa 4.3.

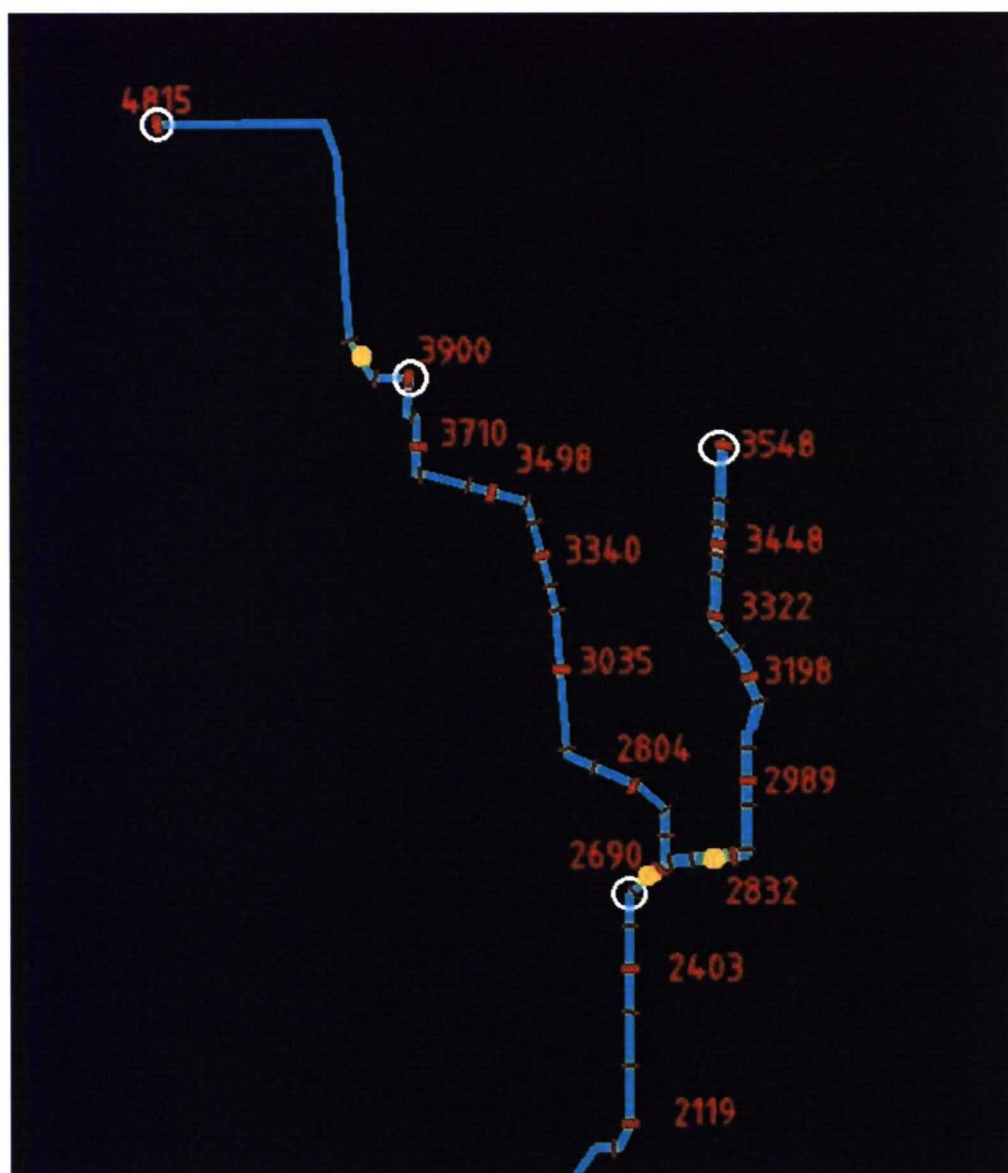
4.2.2 Mallin kalibrointi ja validointi

Mallin kalibroinnissa säädellään uoman karkeuskerrointa, jotta mitatut vedenpinnan tasot ja mallin antamat vedenpinnan tasot vastaisivat mahdollisimman hyvin toisiaan. Kalibroinnissa käytettiin apuna keskineliövirheen neliöjuurta (RMSE, Root Mean Square Error). Yhtälöä 12 minimoidaan parhaimman kalibrointituloksen saamiseksi.

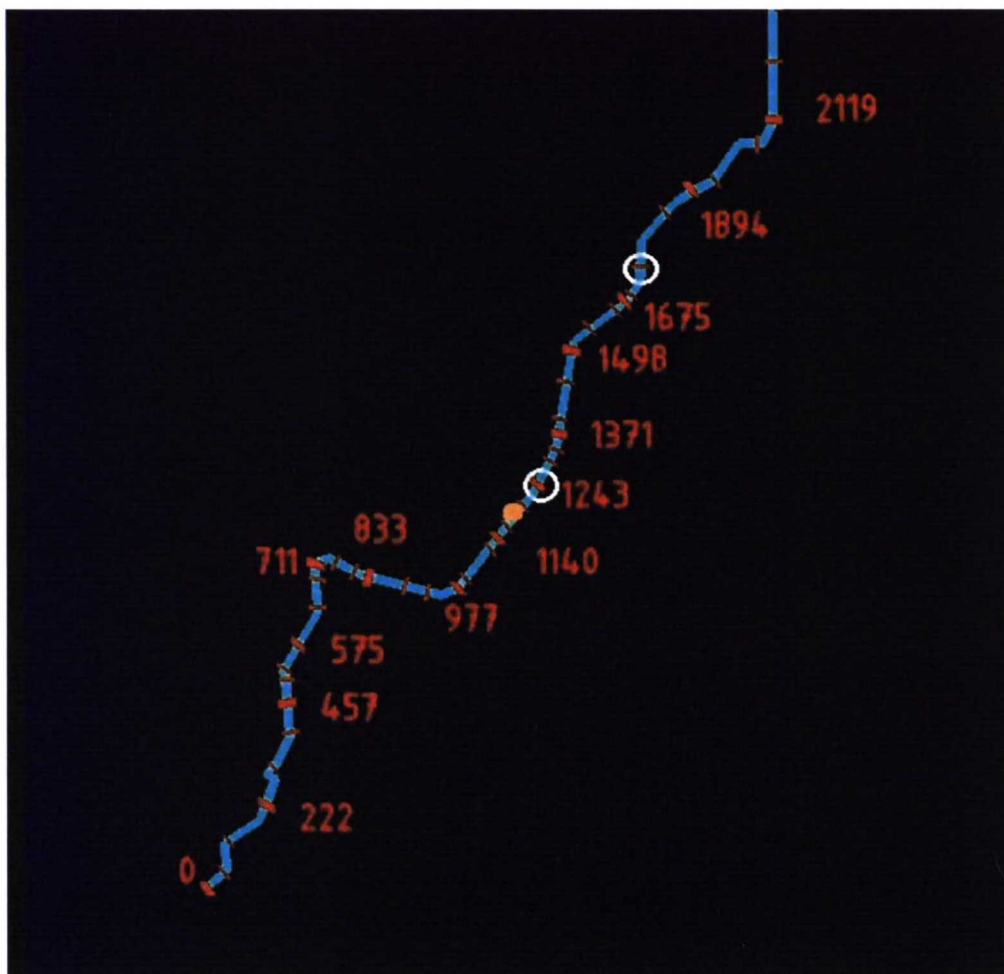
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}, \quad (12)$$

missä n on tutkittavien pisteiden määrä, \hat{y}_i on mallin antama arvo vedenpinnan tasosta ja y_i on vedenpinnan tason todellinen arvo (Katila & Tomppo 2001).

Kalibrointia varten puron virtaama määritettiin siivikkomittausten avulla keväällä 2012 huippuvirtaaman aikaan. Siivikkomittaus on Suomessa yleinen vesistöjen virtaaman mittaustapa. Siivikossa virtausanturin siiven pyörimisnopeus on verrannollinen virtausnopeuteen (Mustonen 1986). Siivikolla mitattiin puron veden virtausnopeutta neljässä pisteessä 29. ja 30.3.2012. Mittauspisteet sijaitsivat länsialtaan kohdalla, Kulomäentien maantäyttöpaikalta tulevassa sivuhaarassa, korven eteläpuolella kulkevan sähkölinjan sekä Koivukylän väylän kohdalla (kuvat 20 ja 21).



Kuva 20. Kylmäojan itähaaran yläjuoksun (plv 2119...4815) poikkileikkaukset. Valkoiset ympyrät kuvaavat virtausmallin virtaamansyöttöpisteitä ja oranssit pisteet kuvaavat siivikkomittauspisteitä.



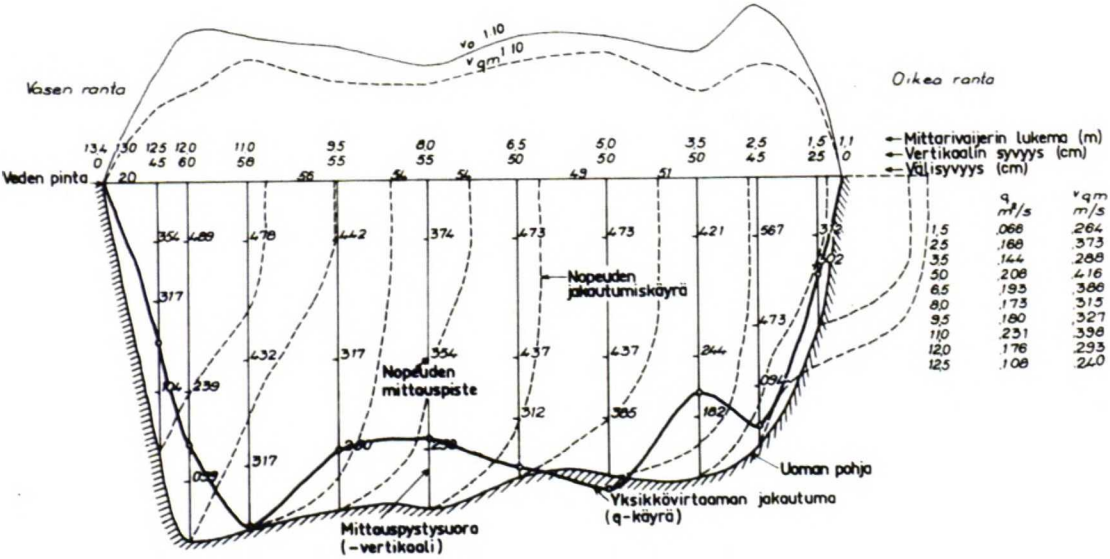
Kuva 21. Kylmäojan itähaaran alajuoksun (plv 0...2119) poikkileikkaukset. Valkoiset ympyrät kuvaavat virtausmallin virtaamansyöttöpisteitä ja oranssit pisteet kuvaavat siivikkomittauspisteitä.

Koska poikkileikkausten sisäinen nopeusjakautuma vaihtelee, siivikkomittauksia tehtiin useassa poikkileikkauksen pisteessä. Poikkileikkauksen mittaamisen jälkeen se jaettiin leveydestä riippuen eri pisteiden perusteella 3...10 mittauspystysuoraan. Näistä mittauspystysuorista mitattiin veden virtausnopeus syvyydestä riippuen kahdella tai kolmella eri syvyydellä. Näin saatiin pysty- ja sivusuuntainen virtausnopeuden jakautuma. Siivikolla mitattiin yhden pisteen virtausnopeutta 50 sekunnin ajan, ja tulokseksi saatiin mittauksen keskiarvo.

Luode Consulting Oy seurasi Vantaan kaupungin ja Tuusulan kunnan toimeksiannosta Kylmäojan itäisen haaran vedenlaatua ja pinnankorkeutta keväällä 2012 automaattisten antureiden avulla kahden kuukauden ajan 10 minuutin välein. Pinnankorkeustietoa hyödynnettiin tässä työssä kalibrointimittausten yhteydessä länsialtaan, Kulomäentien

maantäyttöpaikalta tulevan sivuhaaran sekä Koivukylänväylän kohdalla. Sähkölínjan kohdalta mitattiin vedenkorkeus mittakepillä.

Virtaama laskettiin graafisella menetelmällä (ISO 748:2007) integroimalla virtausnopeudet poikkileikkausten syvyyksien kanssa. Menetelmässä saadaan mittauspystysuorien syvyyden ja keskinopeuden avulla integroitua poikkileikkauksen virtaama. Ensin määritetään syvyys-nopeuskäyrien pinta-ala jokaisessa mittauspystysuorassa, ja sitten näistä pinta-aloista piirretään suorat vedenpinnan yläpuolelle. Lopuksi määritetään pinta-alasuorista muodostuva pinta-ala, joka on yhtä kuin poikkileikkauksen virtaama. Siivikkomittauksen laskenta on esitetty kuvassa 22 (Mustonen 1986).



Kuva 22. Siivikkomittauksen laskenta. (Mustonen 1986)

Siivikon mittauksen tarkkuus heikkenee huomattavasti vaikeissa olosuhteissa, kuten runsaassa vesikasvillisuudessa tai voimakkaassa turbulenssissa (Mustonen 1986). Mittausvirheitä voi myös esiintyä, jos mittariin kulkeutuu purossa kiintoainetta, alueelle tulee jostain syystä vääristynyt virtaama tai mittaria ei käytetä sen käyttötarkoitukseen soveltuvalla virtaamavälillä (ISO 748:2007). Epävarmuuksia aiheuttavat lisäksi muuttuva virtaus tai jos mittaria ei pidetä oikein paikallaan. Lisäksi poikkileikkauksen virtaama on sitä helpompi laskea graafisella menetelmällä, mitä yksinkertaisemmän muotoinen poikkileikkaus on. Näin ollen hyvin monimuotoinen poikkileikkaus

aiheuttaa epävarmuuksia laskentaan. Tässä työssä kuitenkin oletetaan, että epävarmuudet eivät vaikuta merkittävästi virtaamiin.

Malli kalibroitiin 30.3.2012 Kylmäojan itähaaralla mitatuilla vedenkorkeus- ja virtaamatiedoilla. Kalibrointi suoritettiin virtausvastusta kuvaavaa Manningin kerrointa muuttamalla. Kalibroinnin alussa Manningin kerroin oli koko uomassa 0,05, jolloin RMSE oli 3,5. Kalibroinnin jälkeen Manningin kerroin vaihtelee uomassa välillä $n = 0,043 \dots 0,062$ (taulukko 10). Kyseiset Manningin kertoimet sopivat uomille, jotka ovat puhtaita ja mutkailevia, sekä niissä on matalia vyöhykkeitä, kiviä ja kasvillisuutta (Jaakonaho 2001). Näillä Manningin kertoimilla RMSE oli 0,87 (taulukko 11). Mallin antama vedenpinnan taso ja mitattu vedenpinnan taso eroavat toisistaan kalibroinnin jälkeen korkeintaan yhdellä senttimetrillä kaikissa mittauspisteissä.

Taulukko 10. Manningin kertoimet itäisen haaran eri osissa.

| Paaluväli | Manning n |
|-----------------------|-----------|
| 0...2624 | 0.062 |
| 2692...4050 | 0.054 |
| sivuhaara 2690...3548 | 0.043 |

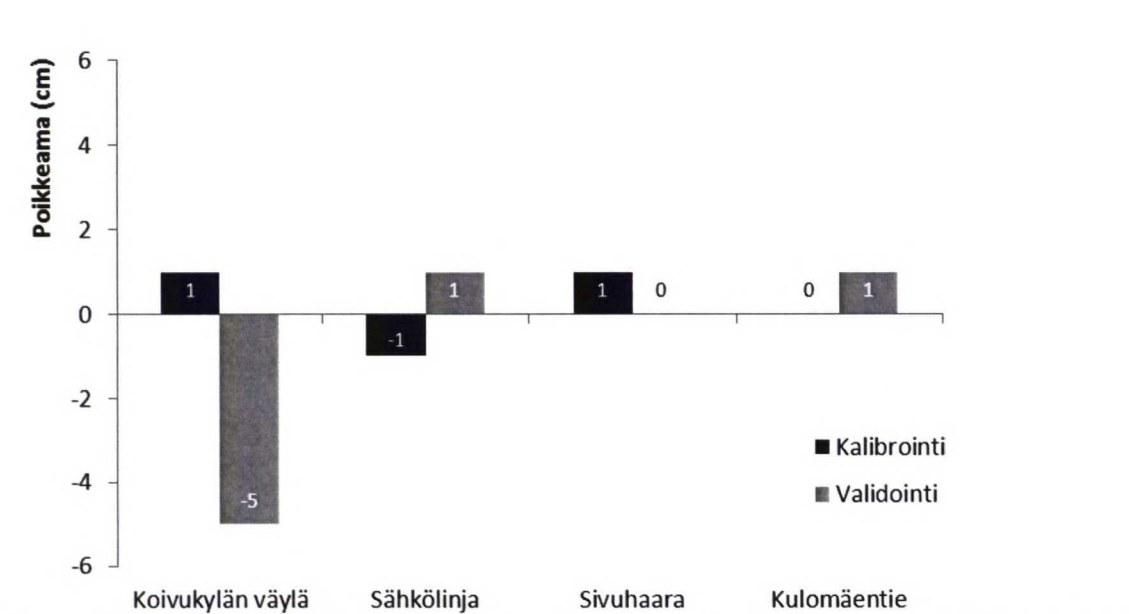
Taulukko 11. Keskineliövirheen neliöjuuri (RMSE) eri tilanteissa.

| Tilanne | RMSE |
|--------------|------|
| Lähtötilanne | 3.50 |
| Kalibrointi | 0.87 |
| Validointi | 2.60 |

Kalibroitu malli validoitiin siten, että malliin syötettiin uudet virtaamat ja säilytettiin kalibroinnista saadut Manningin kertoimet. Uudet virtaamat on laskettu 29.3.2012 samoista neljästä pisteestä mitatuista virtausnopeuksista. Validoinnin RMSE-arvo oli 2,60. Validoinnissa mitattu ja mallin antama vedenpinnan taso eroavat toisistaan yhdellä senttimetrillä Kulomäentien ja sähkölinjan mittauspisteissä, ja sivuhaarassa tasot vastaavat toisiaan. Koivukylän väylän pisteessä mitattu vedenpinnan taso on 5 cm korkeammalla, kuin mallin antama vedenpinnan taso, minkä johdosta validoinnin RMSE-arvo on huomattavasti suurempi kuin kalibroinnin RMSE-arvo. Taulukossa 12 on esitetty kalibroidut ja validoidut vedenpinnan tasot ja kuvassa 23 havainnollistettu mallin antamien kalibroitujen ja validoitujen vedenpinnan tasojen eroa mitattuihin vedenpinnan tasoihin.

Taulukko 12. Mitatut ja mallin antamat vedenpinnan tasot [m] kalibroinnissa ja validoinnissa sekä kalibroinnissa käytetyt siivikolla mitatut virtaamat [l/s].

| Mittauspiste (pl) | Kalibrointi | | | Validointi | | |
|-------------------|---------------|----------------|---------|---------------|----------------|---------|
| | W mitattu [m] | W laskettu [m] | Q [l/s] | W mitattu [m] | W laskettu [m] | Q [l/s] |
| Koivukylän väylä | 26.61 | 26.62 | 574 | 26.66 | 26.61 | 539 |
| Sähkölinja | 35.69 | 35.68 | 302 | 35.69 | 35.70 | 324 |
| Sivuhaara | 36.13 | 36.14 | 255 | 36.13 | 36.13 | 213 |
| Kulomäentie | 40.57 | 40.57 | 48 | 40.59 | 40.60 | 61 |



Kuva 23. Mallin antamien kalibroittujen ja validoitujen vedenpinnan tasojen poikkeama [cm] mitatuista vedenpinnan tasoista.

Kuvasta 23 näkyy, kuinka validoinnissa Koivukylän väylän mitatut ja mallinnetut vedenpinnan tasot eroavat toisistaan huomattavasti enemmän, kuin muiden pisteiden vastaavat arvot. Purossa on saattanut olla Koivukylän väylän alapuolella este, joka on padottanut vettä ja vedenpinnan taso on noussut tavallista korkeammalle, tai mittauksessa on tapahtunut virhe.

4.2.3 Malliajot

Malliajojen tarkoituksena oli määrittää vedenkorkeus uomassa eri virtaamilla ja tarkastella Tuusulan puolella sijaitsevien hulevesialtaiden toimivuutta tulvan ehkäisemiseksi. Malliajoilla tarkasteltiin myös uoman rumpujen toimivuutta eri virtaamilla. Mallilla tarkasteltiin kuutta eri skenaariota, jotka ovat seuraavanlaiset:

- Nykytilanne mitoitusvirtaamilla
- Vuosi 2030 ottaen huomioon kaupungistumisen vaikutuksen
- Vuosi 2030 ottaen huomioon ilmastonmuutoksen vaikutuksen
- Vuosi 2030 ottaen huomioon sekä kaupungistumisen että ilmastonmuutoksen vaikutukset
- Vuosi 2030 ottaen huomioon kaupungistumisen, ilmastonmuutoksen sekä viivytysaltaiden vaikutukset
- Herkkyysanalyysi.

Seuraavat tilanteet mallinnettiin kaikissa kuudessa skenaariossa:

- Virtaamatilanne kerran 1 vuodessa ($HQ_{1/1}$)
- Virtaamatilanne kerran 5 vuodessa ($HQ_{1/5}$)
- Virtaamatilanne kerran 10 vuodessa ($HQ_{1/10}$)
- Virtaamatilanne kerran 20 vuodessa ($HQ_{1/20}$)
- Virtaamatilanne kerran 50 vuodessa ($HQ_{1/50}$)
- Virtaamatilanne kerran 100 vuodessa ($HQ_{1/100}$).

Virtaamat syötettiin malliin uoman kuudessa eri kohdassa, jotka näkyvät kuvissa 20 ja 21. Syöttöpisteinä olivat puron alku itäaltaalla (pl 4815), länsialtaan haara (pl 3900), sivu-uoman alku (pl 3548), sivu-uoman liitoskohta (pl 2624), Koivukylän puistotie (pl 1775) ja Koivukylän väylä (pl 1243). Kylmäojan pääuoman mallinnuksesta (FCG 2010a) saatiin itähaaran liitoskohdan vedenpinnan tasot eri virtaamatilanteissa. Pääuoma on mallinnettu myös HEC-RAS:lla ja samoilla virtaamatilanteilla kuin itähaara. Oletuksena on, että pääuoman mallinnuksesta saadut liitoskohdan vedenpinnan tasot sopivat itähaaran mallinnuksen reunaehdoksi. Nämä vedenpinnan tasot syötettiin malliin purkukohdan vedenpinnan tasoksi:

- 22,03 m virtaamatilanteessa kerran 1 vuodessa ($HQ_{1/1}$)
- 22,19 m virtaamatilanteessa kerran 5 vuodessa ($HQ_{1/5}$)
- 22,29 m virtaamatilanteessa kerran 10 vuodessa ($HQ_{1/10}$)
- 22,36 m virtaamatilanteessa kerran 20 vuodessa ($HQ_{1/20}$)
- 22,42 m virtaamatilanteessa kerran 50 vuodessa ($HQ_{1/50}$)
- 22,48 m virtaamatilanteessa kerran 100 vuodessa ($HQ_{1/100}$).

5 Tulokset

Tässä luvussa esitetään virtausmallinnuksesta saadut tulokset kuvina (kuvat 24...32). Nykytilanteen (5.1) kuvissa näkyy koko Kylmäojan itähaaran sekä sen sivuhaaran pituusleikkaus. Herkkyysanalyysin tuloksissa (5.6) on esitetty pituusleikkaus itähaaran alaosasta sekä sivuhaaran tulvivista rummuista. Muissa skenaarioissa (5.2...5.5) on esitetty kuva vain itähaaran alaosan pituusleikkauksesta, sillä ainoastaan siellä on tulvivia rumpuja. Kuvissa on esitetty itähaaran vedenpinnan taso kerran 1, 10 ja 100 vuodessa esiintyvällä virtaamatilanteella, mutta työssä on kerrottu sanallisesti tulokset myös muista mallinnetuista virtaamatilanteista.

Kuvissa näkyy uoman ja vedenpinnan korkeustason lisäksi uoman rummut sekä silta. Luvun lopussa on esitetty yhteenvetotaulukko eri skenaarioissa eri virtaamatilanteissa tulvivista rummuista (taulukko 13). Pituusleikkaukset koko uomasta kaikissa mallinnetuissa virtaamatilanteissa on esitetty liitteessä 2. Liitteestä 3 löytyy vedenkorkeudet uoman poikkileikkauksissa ja liitteestä 4 itähaaran tulvakohtien tulvakartat.

5.1 Nykytilanne

Nykytilanteen pituusleikkaukset on esitetty kolmessa osassa. Kuva 24 on Kylmäojan itähaaran alajuoksulta, kuva 25 itähaaran yläjuoksulta ja kuva 26 sivuhaarasta. Nykytilanteessa kerran 5, 10 ja 20 vuodessa esiintyvässä mitoitusvirtaamassa puro tulvii Koivukylässä kahden rummun kohdalla (pl 1108 ja 824). Tulviminen näkyy siten, että kuvassa 24 vedenpintaa kuvaava linja on näiden rumpurakenteiden yläpuolella. Kerran vuodessa esiintyvällä mitoitusvirtaamalla puro ei tulvi, vaan pysyy uomassa.

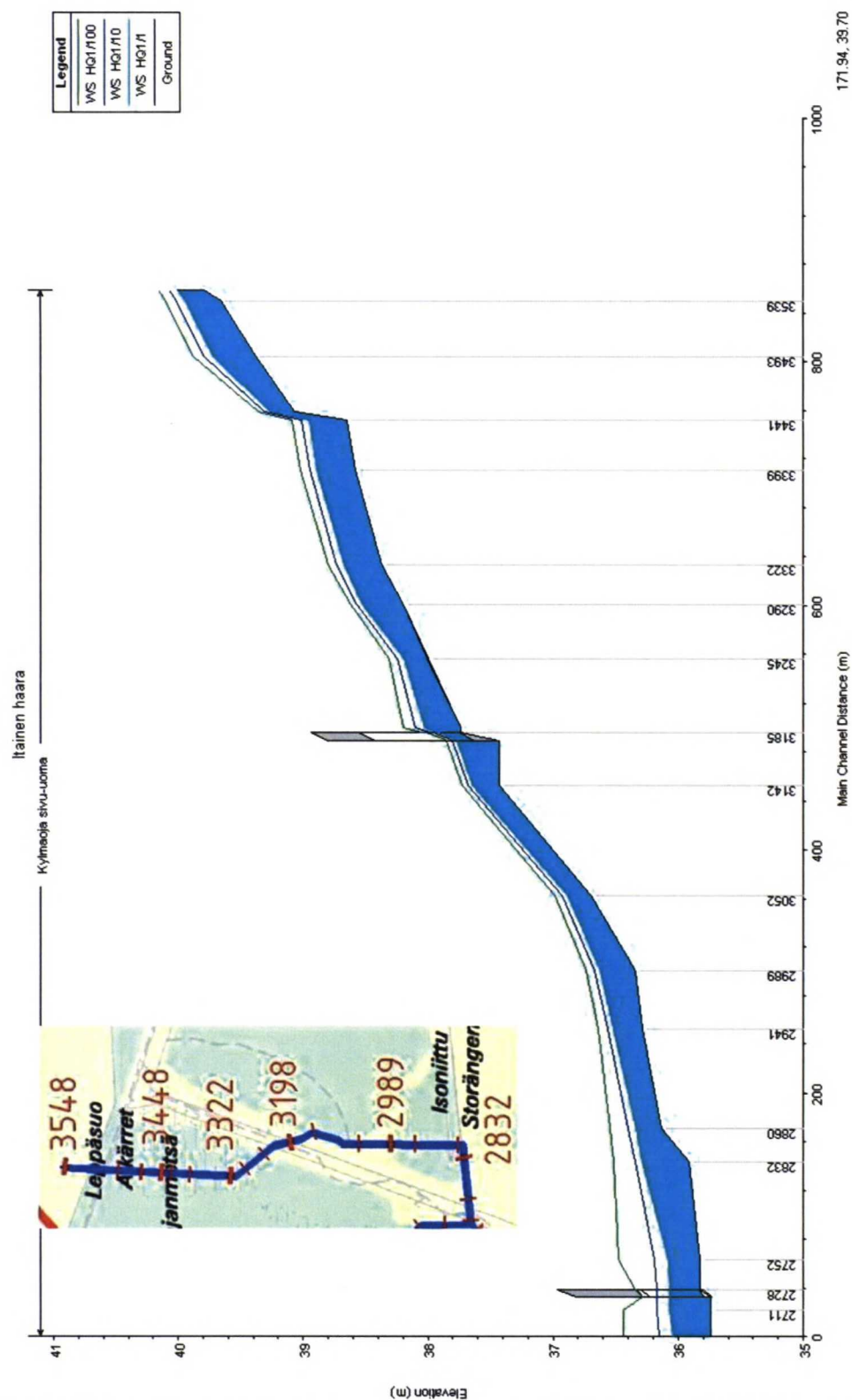
Tulviva rumpu (pl 1108) alittaa kevyen liikenteen väylän, joka yhdistää Koivukylän väylän ja Lehmustien. Rummun tulviminen voi katkaista kulkuyhteyden kevyen liikenteen väylällä. Alueelle parhaillaan rakennettava Kehärata tulee kulkemaan paalun 1108 yli. Kevyen liikenteen väylää ja rumpua paalulla 1108 ei voi nostaa, sillä rumpua nostettaessa ratarakenteiden huoltoajolle ei jäisi tarpeeksi tilaa. Rummun perkaaminen voisi auttaa tulvimisen vähentämiseen. Rummussa on nykytilanteen mallinnuksessa 40 cm pohjalietettä. Toisen rummun (pl 824) tulviminen ei aiheuta merkittävää vahinkoa,

sillä se sijaitsee metsäalueella. Rummussa on 20 cm sedimenttiä, minkä voisi kuitenkin puhdistaa tulvimisen vähentämiseksi.

Kerran 50 vuodessa esiintyvässä mitoitusvirtaamassa tulvivia rumpuja on Koivukylässä edellä mainittujen lisäksi paaluilla 702 ja 896 (kuva 24). Paalulla 702 sijaitsee Kehäradan työmaa, ja tämän takia paikalla olevat rummut (2 * 400 mm) ovat väliaikaiset. Myös paalun 896 rumpu sijaitsee Kehäradan työmaalla, mutta sitä ei muokata rakentamisen yhteydessä.

Kerran 100 vuodessa esiintyvässä virtaamassa tulvii lisäksi rumpu Kylmäojan korven alaosassa (pl 2558, kuva 24). Vedenpinta nousee 5 cm rumpurakenteen yläpuolelle. Rumpu sijaitsee sähkölinjan kohdalla, joka on sivuhaaran liitoskohdasta n. 66 m alajuoksun suuntaan. Rumpujen (2 * 500 mm) yllä kulkee kevyen liikenteen väylä, joka voi muuttua kulkukelvottomaksi rumpujen tulviessa. Lisäksi sähkölinjan perusta voi vahingoittua. Vesi nousee jopa 81 cm toisen rumpurakenteen (pl 824) yläpuolelle Kehäradan kohdalla. Mallista saatujen kerran 100 vuodessa esiintyvän virtaamatilanteen vedenkorkeuksien perusteella tehty tulvakartta löytyy liitteestä 4. Kerran 100 vuodessa esiintyvällä virtaamalla puron tulva levittäytyy eniten Kehäradan kohdalla (liite 4).

Mallintamalla selvitettiin, että puhdistamalla kaksi osittain sedimentoitunutta rumpua (pl 824 ja 1108), vähenee rumpujen tulviminen kerran 1, 5, 10 ja 20 vuodessa esiintyvällä virtaamalla. Rummut eivät tulvisi ollenkaan kerran 1 ja 5 vuodessa esiintyvillä virtaamilla. Kerran 10 ja 20 vuodessa esiintyvällä virtaamalla tulvisi vain toinen rummuista (pl 824). Rumpujen puhdistaminen ei vaikuta kerran 50 ja 100 vuodessa esiintyvien virtaamien aiheuttamien tulvivien rumpujen määrään.



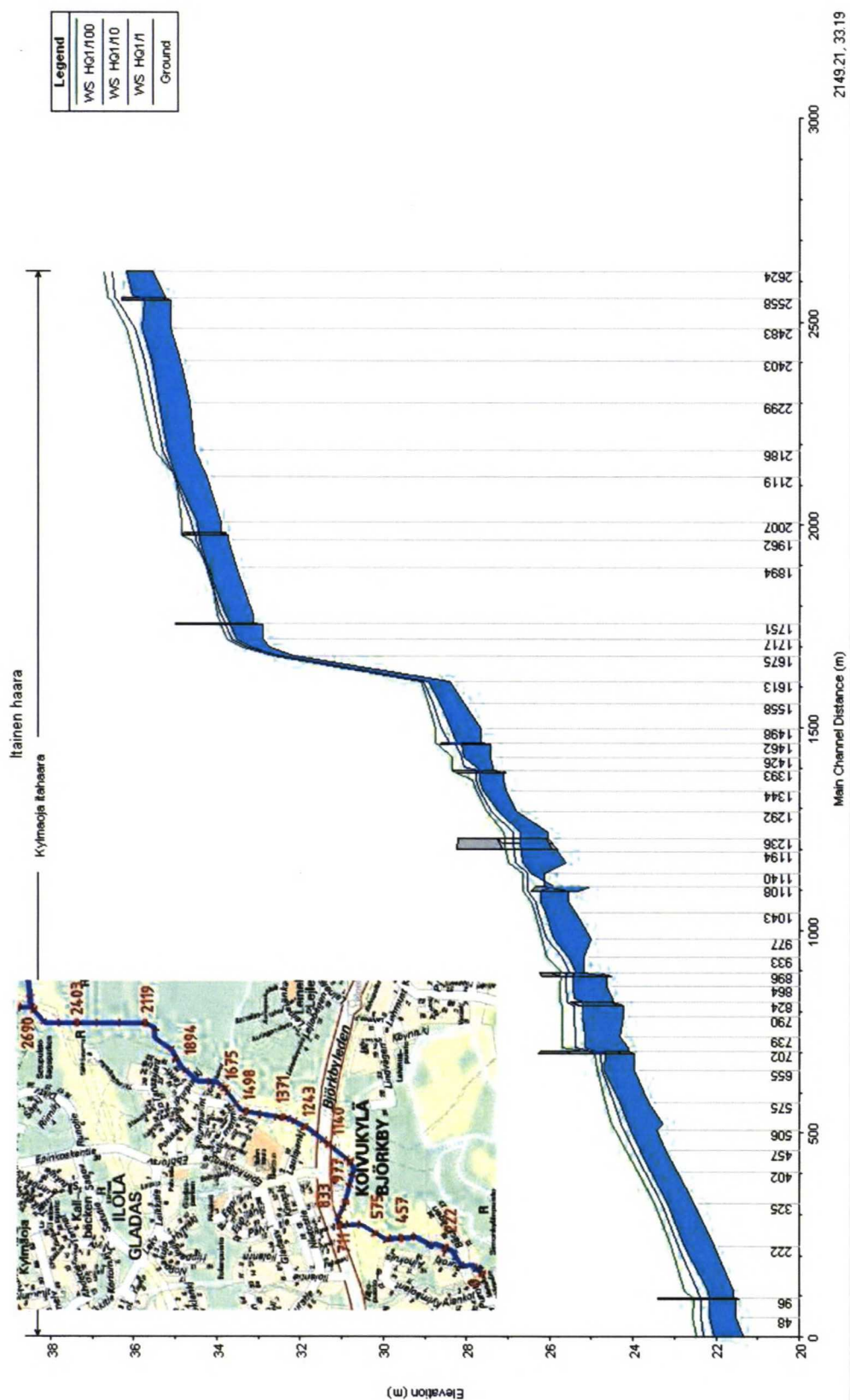
Kuva 26. Kylmäojan itähaaran sivuhaaran pituusleikkaus nykytilanteessa. Turkoosilla on merkitty kerran 1 vuodessa, sinisellä kerran 10 ja vihreällä kerran 100 vuodessa esiintyvä virtaamatilanne.

5.2 Vuonna 2030: kaupungistumisen vaikutus

Kuvassa 27 on esitetty itäisen haaran alajuoksun pituusleikkaus vuonna 2030, kun kaupungistuminen on vaikuttanut virtaamaan. Kerran vuodessa esiintyvällä virtaamalla puro ei tulvi tässä skenaariossa. Kaikilla muilla mitoitusvirtaamilla puron alajuoksulla on rumpuja, joiden vedenvälityskapasiteetti ylittyy. Kerran 5 ja 10 vuodessa esiintyvällä virtaamalla tulvivat rummut korven alaosassa (pl 2558) sekä Koivukylässä kahdessa kohdassa (pl 1108 ja 824). Kerran 20 ja 50 vuodessa esiintyvällä mitoitusvirtaamalla tulvii edellä mainittujen rumpujen lisäksi rumpu Ilolan itäpuolella metsäalueella (pl 1462), jonka yli menee kävelypolku.

Kerran 100 vuodessa esiintyvällä mitoitusvirtaamalla edellä mainittujen neljän rummun lisäksi tulvivat kaksi muuta rumpua (pl 1393 ja 1980) Ilolan itäpuolella (kuva 27). Toisen rummun (pl 1393) ylitse kulkee kävelypolku ja toisen rummun (pl 1980) ylitse kulkee kevyen liikenteen väylä, joka on talvisin hiihtolatu. Mallista saatujen kerran 100 vuodessa esiintyvän virtaamatilanteen vedenkorkeuksien perusteella tehty tulvakartta löytyy liitteestä 4, josta näkee tulvan levittäytyvän eniten Kehäradan kohdalla sekä Ilolan itäpuolella. Vesi nousee jopa 26 cm rumpurakenteen (pl 824) yläpuolelle Kehäradan kohdalla ja 36 cm rumpurakenteen (pl 2558) yläpuolelle korven alaosassa.

Tulvivat rummut voivat katkaista kevyen liikenteen väylien kulkuyhteyksiä korven alaosassa kahdessa kohtaa (pl 2558 ja 1980) sekä Kehäradan alla (1108). Myös kävelypolkujen kulkuyhteys voi katketa kahdessa kohtaa Ilolan itäpuolella (pl 1462 ja 1393).



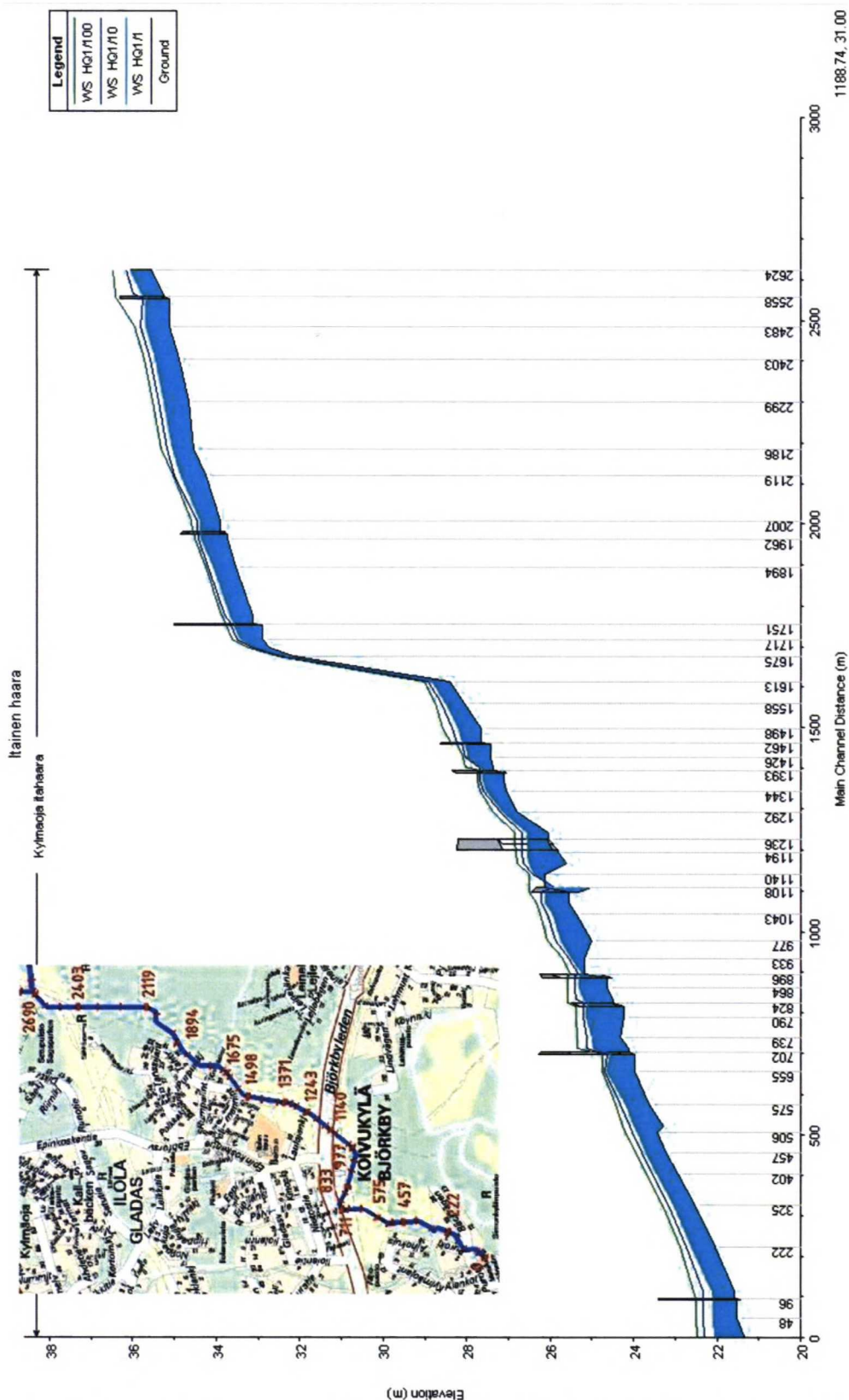
Kuva 27. Kylmäojan itäisen haaran alajuoksun (plv 0...2624) pituusleikkaus vuonna 2030, kun kaupungistumisen vaikutus virtaamaan on otettu huomioon. Kuvassa on esitetty kerran 1 (turkoosi), 10 (sininen) ja 100 (vihreä) vuodessa esiintyvät virtaamatilanteet.

5.3 Vuonna 2030: ilmastonmuutoksen vaikutus

Puron rummut eivät tulvi kerran 1, 5 ja 10 vuodessa esiintyvällä mitoitusvirtaamalla (kuva 28). Kerran 20 vuodessa esiintyvällä virtaamalla purossa tulvii rumpu Koivukylässä (pl 1108). Kerran 50 ja 100 vuodessa esiintyvällä virtaamalla purossa tulvivat edellä mainitun lisäksi toinen rumpu Koivukylässä (pl 824) sekä korven alaosan rumpu (pl 2558).

Mallista saatujen kerran 100 vuodessa esiintyvän virtaamatilanteen vedenkorkeuksien perusteella tehty tulvakartta löytyy liitteestä 4, josta näkee tulvan levittäytyvän eniten Kehäradan kohdalla. Vesi nousee 8 cm (pl 824) ja 6 cm (pl 1108) rumpurakenteiden yläpuolelle Kehäradan kohdalla ja 10 cm (pl 2558) korven alaosassa.

Tulvivat rummut voivat katkaista kevyen liikenteen väylien kulkuyhteyksiä korven alaosassa (pl 2558) sekä Kehäradan alla (1108). Koivukylän toisen rummun (pl 824) tulviminen ei aiheuta haittaa, sillä se sijaitsee metsäalueella.



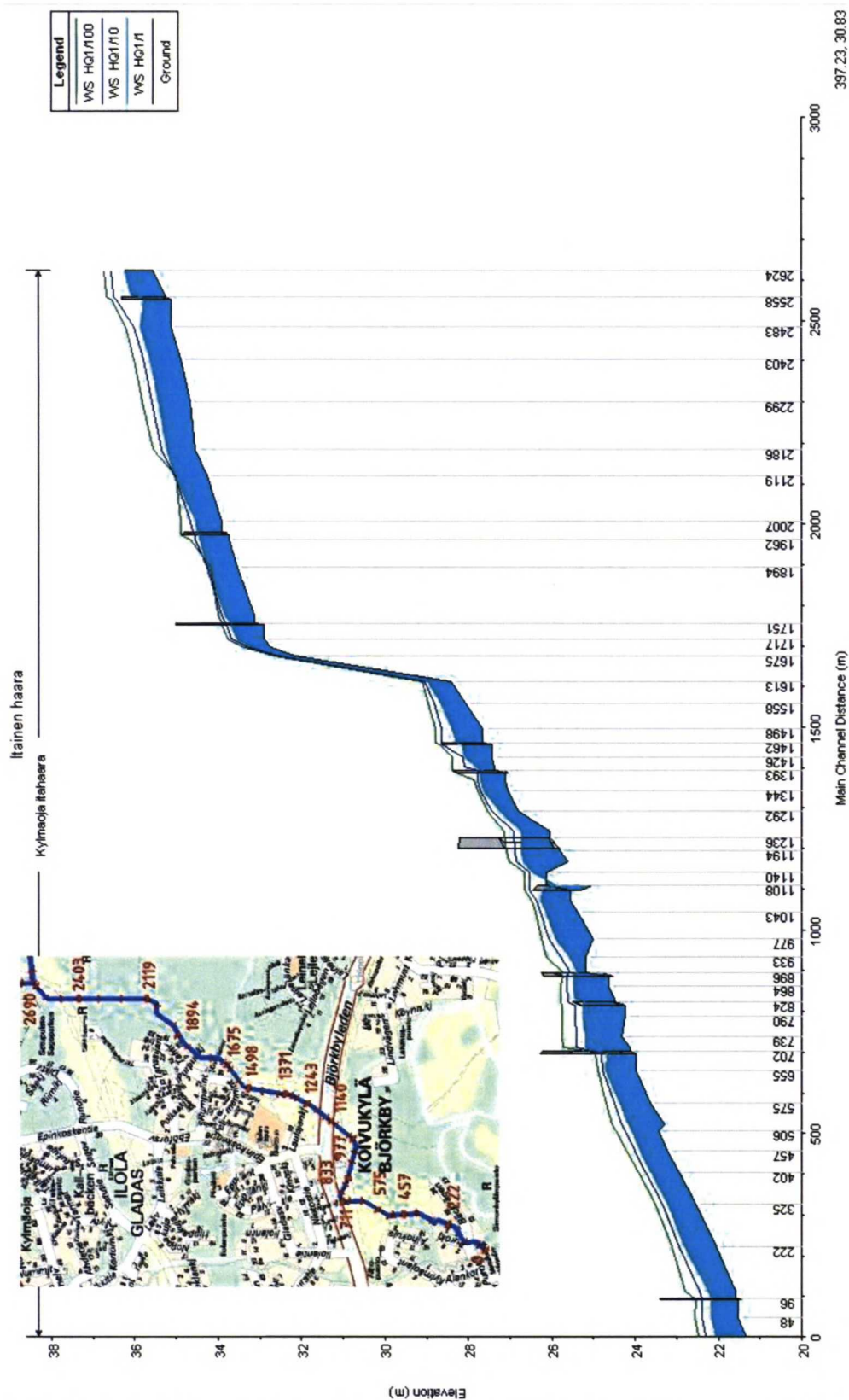
Kuva 28. Kylmäojan itäisen haaran alajuoksun (plv 0...2624) pituusleikkaus vuonna 2030, kun ilmastonmuutoksen vaikutus virtaamaan on otettu huomioon. Kuvassa on esitetty kerran 1 (turkoosi), 10 (sininen) ja 100 (vihreä) vuodessa esiintyvät virtaamatilanteet.

5.4 Vuonna 2030: kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus

Vuonna 2030 kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutuksesta purossa esiintyy tulviva rumpu Koivukylässä (pl 1108) jo kerran vuodessa esiintyvällä virtaamalla (kuva 29). Kerran 5 vuodessa esiintyvällä virtaamalla purossa tulvii edellä mainitun rummun lisäksi korven alaosassa (pl 2558) ja toinen rumpu Koivukylässä (pl 824). Kerran 10 ja 20 vuodessa esiintyvällä virtaamalla tulvii lisäksi rumpu Ilolan itäpuolella metsäalueella (pl 1462). Kerran 50 vuodessa esiintyvällä virtaamalla purossa tulvii edellisten lisäksi toinen rumpu Ilolan itäpuolella metsäalueella (pl 1980).

Kerran 100 vuodessa esiintyvällä virtaamalla purossa tulvii kaiken kaikkiaan 6 rumpua (kuva 29). Kaksi rummuista sijaitsee Koivukylässä Kehäradan alla (pl 824 ja 1108), kaksi Ilolan itäpuolella (pl 1393, 1462) ja kaksi Kylmäojan korven alaosassa (pl 1980 ja 2558). Mallista saatujen kerran 100 vuodessa esiintyvän virtaamatilanteen vedenkorkeuksien perusteella tehty tulvakartta löytyy liitteestä 4, josta näkee tulvan levittäytyvän sekä Kehäradan kohdalla, että Ilolan itäpuolella. Kehäradan kohdalla vesi nousee 26 cm (pl 824) ja 20 cm (pl 1108) rumpurakenteiden yläpuolelle. Korven alaosassa (pl 2558) vesi nousee korkeimmillaan 37 cm ja Ilolan itäpuolella (pl 1462) 15 cm rumpurakenteiden yläpuolelle.

Tulvivat rummut voivat katkaista kevyen liikenteen väylien kulkuyhteyksiä korven alaosassa kahdessa kohtaa (pl 2558 ja 1980) sekä Kehäradan alla (pl 1108). Myös kävelypolkujen kulkuyhteys voi katketa kahdessa kohtaa Ilolan itäpuolella (pl 1462 ja 1393). Toinen Koivukylässä tulviva rumpu (pl 824) ei aiheuta haittaa, sillä se sijaitsee metsäalueella.



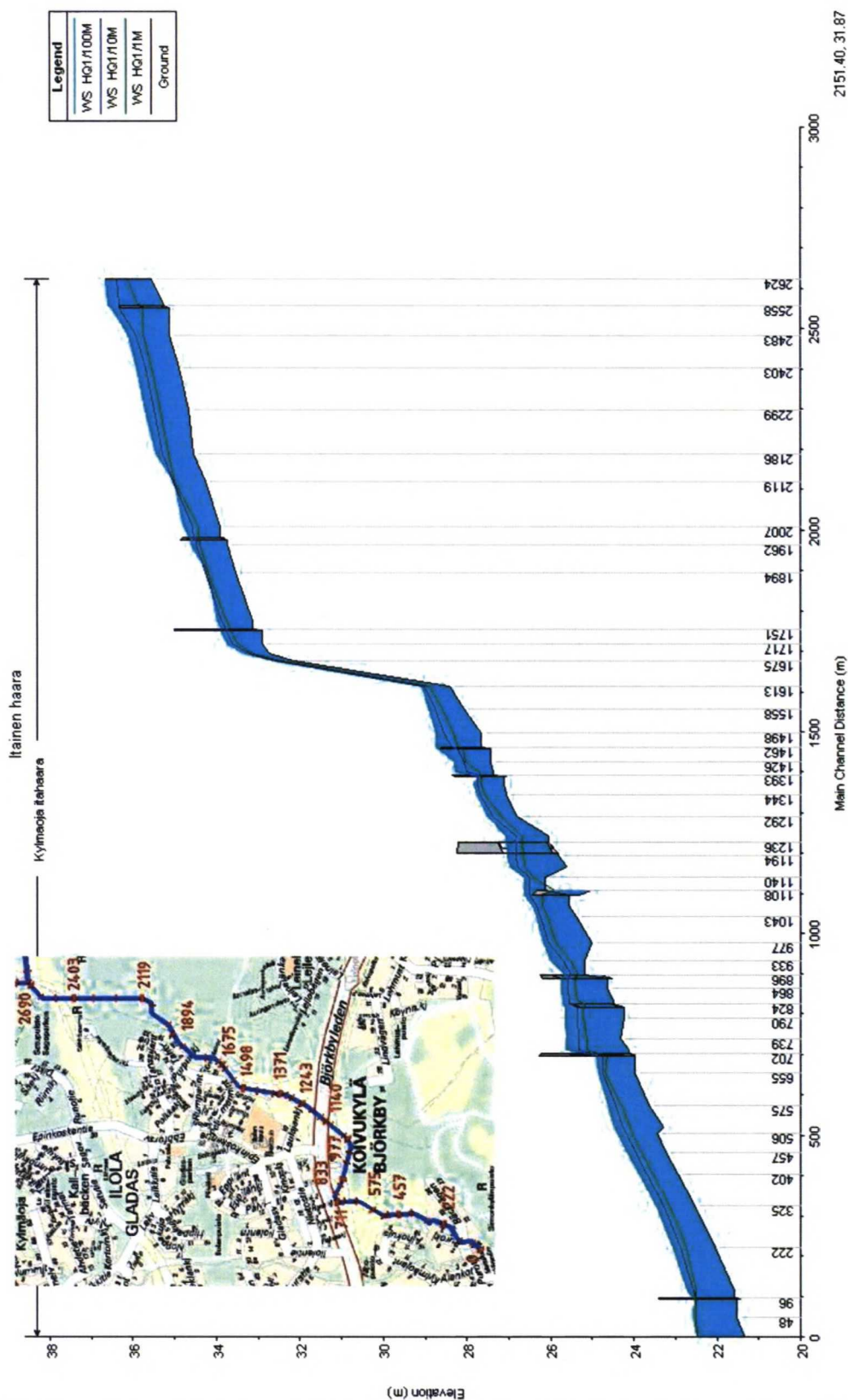
Kuva 29. Kylmäojan itäisen haaran alajuoksun (plv 0...2624) pituusleikkaus vuonna 2030, kun kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen vaikutus virtaamaan on otettu huomioon. Kuvassa on esitetty kerran 1 (turkoosi), 10 (sininen) ja 100 (vihreä) vuodessa esiintyvät virtaamatilanteet.

5.5 Vuonna 2030: kaupungistumisen, ilmastonmuutoksen ja tasausaltaiden vedenpidätyksen yhteisvaikutus

Yksikään puron rummuista ei tulvi kerran vuodessa esiintyvällä mitoitusvirtaamalla (kuva 30). Kerran 5 vuodessa esiintyvällä virtaamalla tulvii Koivukylässä kaksi rumpua (pl 824 ja 1108). Kerran 10 vuodessa esiintyvällä virtaamalla tulvii lisäksi korven alaosassa (pl 2558). Kerran 20, 50 ja 100 vuodessa esiintyvällä virtaamalla tulvii edellisten lisäksi Ilolan itäpuolella (pl 1462).

Kerran 100 vuodessa esiintyvällä virtaamalla tulvii siis kaiken kaikkiaan 4 rumpua (kuva 30), joista 2 sijaitsee Kehäradan alla (pl 824 ja 1108), yksi Ilolan itäpuolella (pl 1462) ja yksi Kylmäojan korven alaosassa (pl 2558). Mallista saatujen kerran 100 vuodessa esiintyvän virtaamatilanteen vedenkorkeuksien perusteella tehty tulvakartta löytyy liitteestä 4, josta näkee tulvan levittäytyvän Kehäradan kohdalla. Vesi nousee toisen rummun kohdalla (pl 1108) 16 cm ja toisen kohdalla (pl 824) 22 cm rakenteen yläpuolelle. Korven alaosassa (pl 2558) vesi nousee korkeimmillaan 29 cm ja Ilolan itäpuolella (pl 1462) 9 cm rumpurakenteiden yläpuolelle.

Tulvivat rummut voivat katkaista kevyen liikenteen väylien kulkuyhteyksiä korven alaosassa (pl 2558) sekä Kehäradan alla (pl 1108). Myös kävelypolkujen kulkuyhteys voi katketa Ilolan itäpuolella (pl 1462). Toinen Koivukylässä tulviva rumpu (pl 824) ei aiheuta haittaa, sillä se sijaitsee metsäalueella.



Kuva 30. Kylmäojan itäisen haaran alajuoksun (plv 0...2624) pituusleikkaus vuonna 2030, kun kaupungistumisen, ilmastonmuutoksen sekä tasausalaiden vedenpidätyksen vaikutus virtaamaan on otettu huomioon. Kuvassa on esitetty kerran 1 (vihreä), 10 (sininen) ja 100 (turkoosi) vuodessa esiintyvät virtaamatilanteet.

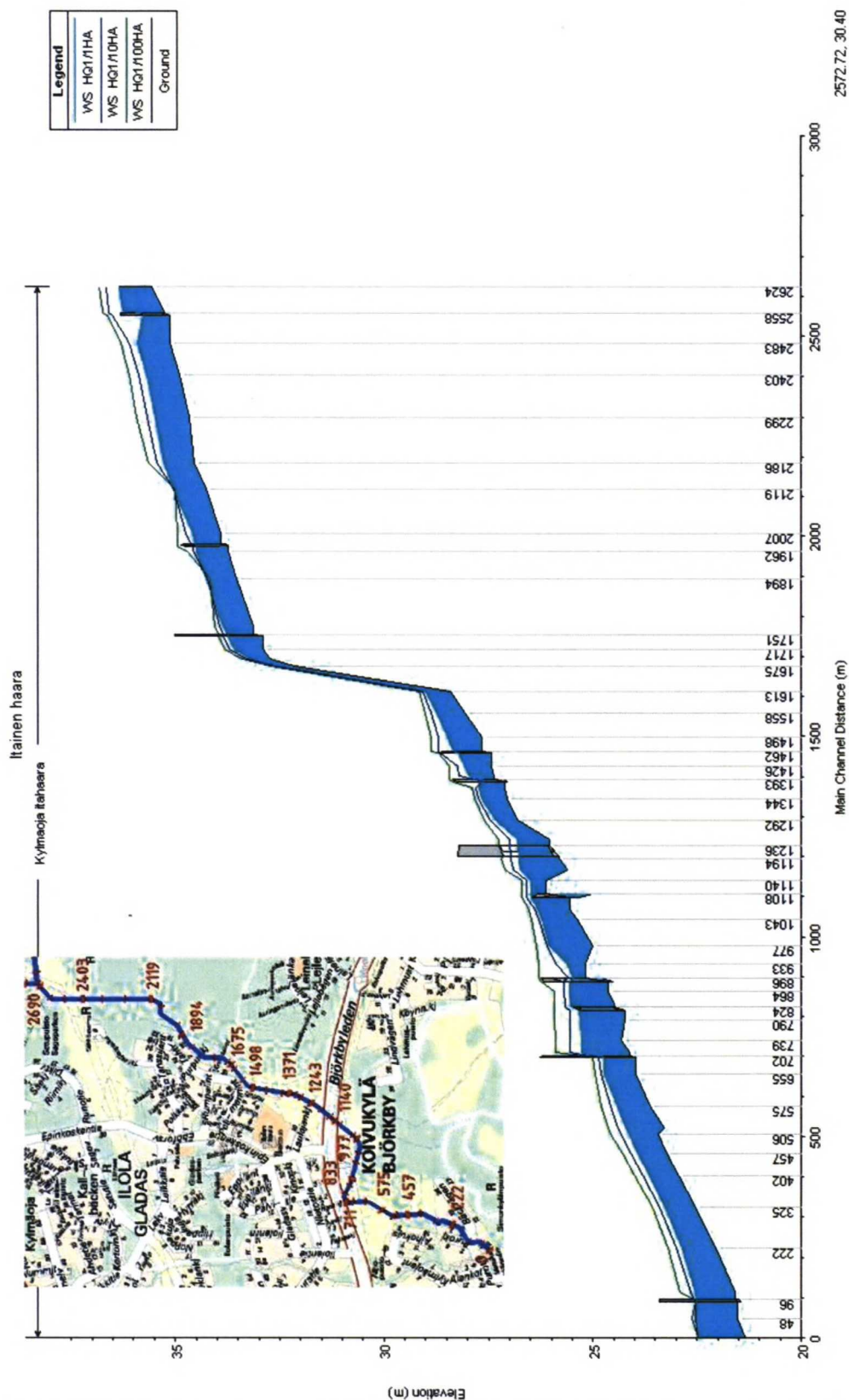
5.6 Herkkyysanalyysi

Kerran 1 vuodessa toistuvalla virtaamalla purossa tulvii kaksi rumpua Koivukylässä (pl 824 ja 1108, kuva 31). Tulvivia rumpuja on yksi enemmän, kuin kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutusskenaariossa, jonka pohjalta herkkyysanalyysi on tehty. Kerran 5 ja 10 vuodessa toistuvalla virtaamalla tulvii edellä mainittujen lisäksi 2 rumpua, joista toinen sijaitsee Ilolan itäpuolella (pl 1462) ja toinen korven alaosassa (pl 2558). Tilanne on sama, kuin kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutusskenaariossa kerran 10 vuodessa toistuvalla virtaamalla.

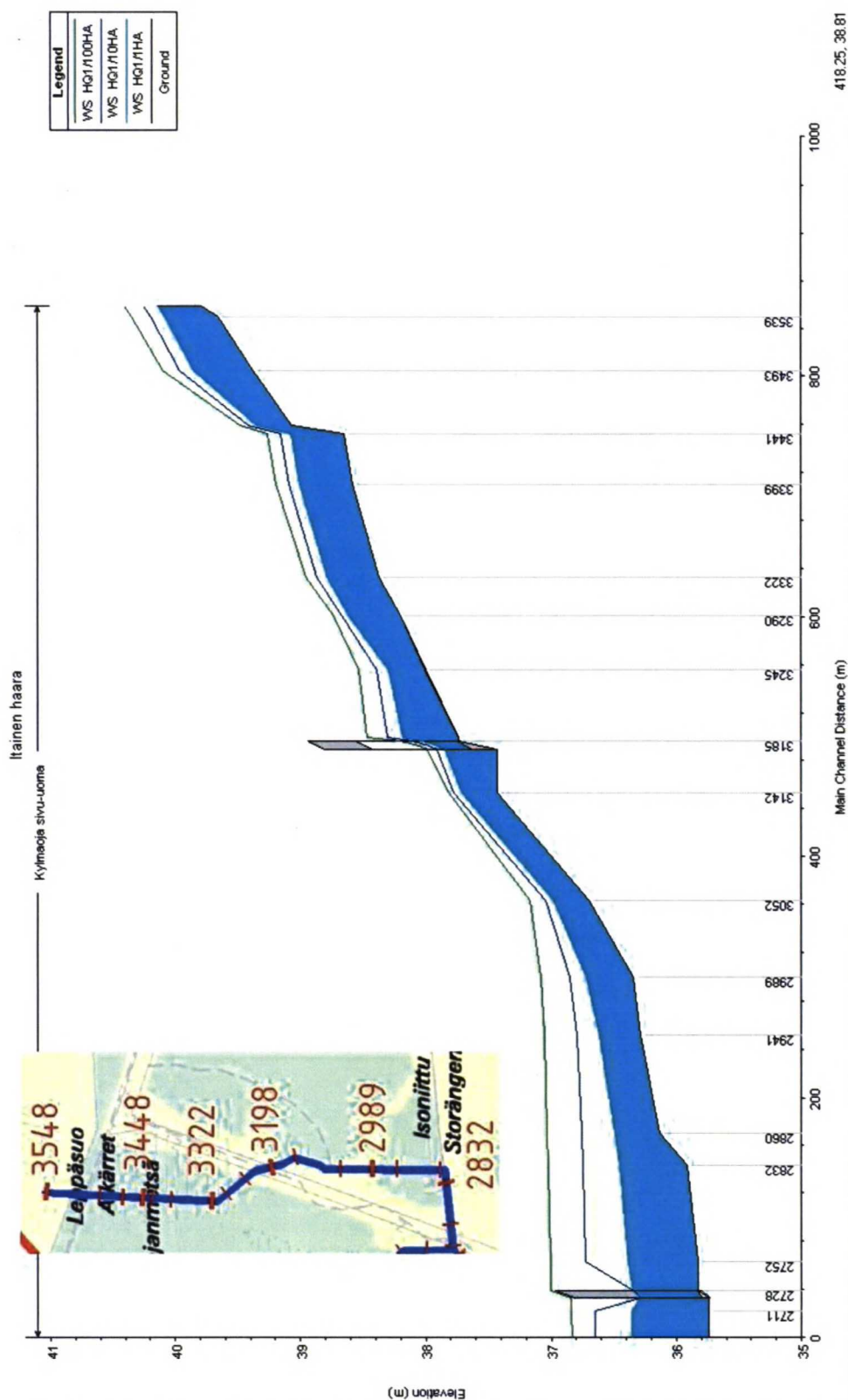
Kerran 20 vuodessa toistuvalla virtaamalla tulvii lisäksi toinen rumpu Ilolan itäpuolella (pl 1393, kuva 31). Kerran 50 vuodessa esiintyvällä virtaamalla tulvii edellisten lisäksi kolmas rumpu Ilolan itäpuolella (pl 1980). Verrattuna kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutusskenaarioon, on kerran 50 ja 100 vuodessa toistuvat virtaamatapahtumat muuttuneet vastaavasti kerran 20 ja 50 vuodessa toistuviksi.

Kerran 100 vuodessa toistuvalla virtaamalla tulvii purossa yhteensä 8 rumpua, joista 7 itähaaran alaosassa (pl 824, 896, 1108, 1393, 1462, 1980 ja 2558, kuva 31) sekä 1 sivuhaarassa (pl 2728, kuva 32). Jos virtaama on 20 % suurempi, kuin kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutusskenaariossa on arvioitu, tulvii purossa kaksi rumpua enemmän kerran 100 vuodessa toistuvalla kevytylvirtaamalla.

Mallista saatujen kerran 100 vuodessa esiintyvän virtaamatilanteen vedenkorkeuksien perusteella tehty tulvakartta löytyy liitteestä 4, josta näkee tulvan levittäytyvän Kehäradan kohdalla, Ilolan itäpuolella sekä sivuhaarassa. Vesi nousee Kehäradan kohdalla 43 cm (pl 824) ja 25 cm (pl 1108) rumpurakenteiden yläpuolelle. Ilolan itäpuolella (pl 1462) vesi nousee korkeimmillaan 22 cm, korven alaosassa (pl 2558) 44 cm ja sivuhaarassa (pl 2728) 4 cm rumpurakenteiden yläpuolelle.



Kuva 31. Kylmäojan itäisen haaran alajuoksun (plv 0...2624) pituusleikkaus vuonna 2030, kun kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen yhteisvaikutus virtaamaan on otettu huomioon ja lisäksi virtaamaa on kasvatettu 20 %. Kuvassa on esitetty kerran 1 (turkoosi), 10 (sininen) ja 100 (vihreä) vuodessa esiintyvät virtaamatilanteet.



Kuva 32. Kylmäojan itäisen haaran sivuhaaran pituusleikkaus vuonna 2030, kun kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus virtaamaan on otettu huomioon ja lisäksi virtaamaa on kasvatettu 20 %. Kuvassa on esitetty kerran 1 (turkoosi), 10 (sininen) ja 100 (vihreä) vuodessa esiintyvät virtaamatilanteet.

Taulukko 13. Eri skenaarioissa eri virtaamatilanteissa tulvivat rummut. Merkintä X tarkoittaa kyseisen rummun tulvivan kyseisen skenaarion virtaamatilanteessa.

| | | Rumpu (pl) | | | | | | | | |
|--|---------------------|------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
| | | 702 | 824 | 896 | 1108 | 1393 | 1462 | 1980 | 2558 | s2728 |
| Nykytilanne | HQ _{1/1} | | | | | | | | | |
| | HQ _{1/5} | | X | | X | | | | | |
| | HQ _{1/10} | | X | | X | | | | | |
| | HQ _{1/20} | | X | | X | | | | | |
| | HQ _{1/50} | X | X | X | X | | | | | |
| | HQ _{1/100} | X | X | X | X | | | | X | |
| Kaupungistuminen | HQ _{1/1} | | | | | | | | | |
| | HQ _{1/5} | | X | | X | | | | X | |
| | HQ _{1/10} | | X | | X | | | | X | |
| | HQ _{1/20} | | X | | X | | X | | X | |
| | HQ _{1/50} | | X | | X | | X | | X | |
| | HQ _{1/100} | | X | | X | X | X | X | X | |
| Ilmastonmuutos | HQ _{1/1} | | | | | | | | | |
| | HQ _{1/5} | | | | | | | | | |
| | HQ _{1/10} | | | | | | | | | |
| | HQ _{1/20} | | | | X | | | | | |
| | HQ _{1/50} | | X | | X | | | | X | |
| | HQ _{1/100} | | X | | X | | | | X | |
| Kaupungistuminen ja ilmastonmuutos | HQ _{1/1} | | | | X | | | | | |
| | HQ _{1/5} | | X | | X | | | | X | |
| | HQ _{1/10} | | X | | X | | X | | X | |
| | HQ _{1/20} | | X | | X | | X | | X | |
| | HQ _{1/50} | | X | | X | | X | X | X | |
| | HQ _{1/100} | | X | | X | X | X | X | X | |
| Kaupungistuminen, ilmastonmuutos ja altaat | HQ _{1/1} | | | | | | | | | |
| | HQ _{1/5} | | X | | X | | | | | |
| | HQ _{1/10} | | X | | X | | | | X | |
| | HQ _{1/20} | | X | | X | | X | | X | |
| | HQ _{1/50} | | X | | X | | X | | X | |
| | HQ _{1/100} | | X | | X | | X | | X | |
| Herkkysanalyyysi | HQ _{1/1} | | X | | X | | | | | |
| | HQ _{1/5} | | X | | X | | X | | X | |
| | HQ _{1/10} | | X | | X | | X | | X | |
| | HQ _{1/20} | | X | | X | X | X | | X | |
| | HQ _{1/50} | | X | | X | X | X | X | X | |
| | HQ _{1/100} | | X | X | X | X | X | X | X | X |

6 Tulosten tarkastelu

6.1 Nykytilanne

Nykytilanteen mallintamista varten laskettiin valuma-alueelta eri toistuvuustilanteissa tulevat virtaamat Seunan (1983) nomogrammin avulla ja virtaamat syötettiin HEC-RAS -virtausmalliin. HEC-RAS:a on käytetty myös monien muiden purojen mallintamiseen Suomessa (Insinööritoimisto Pekka Leiviskä 2008, FCG 2009, FCG 2010a, FCG 2012, Rakennustaito 2010). Mallia on käytetty hyvin erikokoisille uomille, muutaman kilometrin pituudesta kymmeneen kilometriin (Rakennustaito 2001, Chang et al. 2010). Mallilla on usein mallinnettu tämän työn kaltaisesti ylivirtaamatilanteita, jotta voidaan tutkia puron tulvimista. HEC-RAS ei välttämättä sovellu pienien purojen alivirtaamatilanteiden mallintamiseen. Ylivirtaamatilanteessa vettä on uomassa enemmän, jolloin myös mallin soveltuvuus paranee.

Mitoitusvalunta on useissa mallinnustapauksissa määritetty hydrologisen mallin avulla (FCG 2009, FCG 2012), ja joissakin tapauksissa rationaalisella menetelmällä (Rakennustaito 2001). Hydrologinen malli ottaa huomioon valuma-alueen ominaisuudet sekä hulevesiverkoston, ja laskee mitoitusasteilla syntyvän valunnan määrän (EPA 2012). Hydrologisen mallin avulla voi saada tarkemmin arvioitua valuman määrän kuin esimerkiksi nomogrammeilla, sillä hydrologinen malli ottaa huomioon valuma-alueen yksilöllisiä ominaisuuksia.

Tässä työssä käytettyä Seunan (1983) nomogrammia pienille järvettömille valuma-alueille on käytetty esimerkiksi kosteikkojen suunnittelussa (Metsäkeskus 2012). Kosteikkojen vähimmäistilavuus on määritetty siten, että Seunan (1983) nomogrammistä määritetylle kevätkeskiylivirtaamalle saadaan 1...2 päivän viipymä kosteikossa. Seunan (1983) nomogrammin avulla on määritetty myös Kylmäojan pääuoman kevätkeskiylivirtaama virtausmallinnusta varten (FCG 2010a).

Muita ylivaluman määrittämiseen käytettyjä nomogrammeja löytyy Kaiteralta (1949) ja Kuusistolta (1985), mutta näissä nomogrammeissa ylivaluma määritetään järvisyyden, lumen vesiarvon keskimääräisen vuosimaksimin sekä valuma-alueen koon mukaan.

Kaiteran (1949) ja Kuusiston (1985) nomogrammit soveltuvat järvisille valuma-alueille ja jälkimmäinen vain yli 30 km² valuma-alueille.

6.2 Kaupungistumisen vaikutus tulvimiseen

Nykytilanteeseen verrattuna tulvivia rumpuja on useampia vuoden 2030 kaupungistumisen skenaariossa. Vuonna 2030 uusia tulvivia rumpuja nykytilanteeseen verrattuna on yhteensä 3 kappaletta (pl 1462, 1393 sekä 1980). Toisaalta kaksi rumpua (pl 702 ja 896) eivät tulvi vuoden 2030 skenaariossa, vaikka tulvivat nykytilanteessa. Tämä johtuu paalulla 702 olevan Kehäradan rummun vaihtamisesta suurempaan (1 200 mm) Kehäradan rakentamisen yhteydessä, sekä paaluilla 824 ja 1108 sijaitsevien rumpujen perkaamisesta.

Kaupungistumisen vaikutuksesta puro tulee tulvimaan nykytilannetta enemmän. Tulokset ovat samansuuntaisia kuin Tarkkalalla (2002), vaikkakin itähaaran virtaama kasvaa huomattavasti enemmän kaupungistumisen vaikutuksesta kuin Tarkkalan (2002) tutkimien purojen virtaamat. Kylmäojan itäisellä haaralla kerran 10 vuodessa esiintyvä virtaama muuttuu useammin kuin kerran vuodessa esiintyväksi, kun valuma-alueen arvioitu kaupungistuminen lisääntyy 78 %. Moscrip & Montgomeryn (1997) mukaan kerran 10 vuodessa esiintyvä virtaama muuttuu kerran 1...4 vuodessa esiintyväksi, kun kaupungistuminen laajenee 14 %. Schuelerin (1994) luokittelun mukaan uoma muuttuu vuoteen 2030 mennessä luonnontilaisesta muuntuvaksi, kun läpäisemättömän pinnan määrä valuma-alueella ylittää 10 %.

Krebs (2009) on määrittänyt rationaalisella menetelmällä Kylmäojan itäisen haaran läpäisemättömiltä pinnoilta syntyvät hulevesimäärät vuosina 2007 ja 2030 (taulukko 2). Nämä vesimäärät ovat merkittävästi suurempia, kuin tässä työssä arvioidut kevätylivalumat koko valuma-alueelle. Krebs (2009) käytti valuman arvioimiseen mitoitussadetta, jonka intensiteetti on 255 l/s/ha. Krebsin (2009) mukaan valuma-alueen läpäisemättömiltä pinnoilta syntyvä valunta 2,5-kertaistuu vuodesta 2007 vuoteen 2030 mennessä kaupungistumisen vaikutuksesta. Tässä työssä valuma-alueen valunta alle kaksinkertaistuu vuodesta 2012 vuoteen 2030 mennessä kaupungistumisen vaikutuksesta. Valunnan kasvun määrittämisessä on siis epävarmuuksia, jolloin myös hulevesien hallintamenetelmien mitoitus arvioitujen valuntojen perusteella on

epävarmaa. Valunnan kasvamisen määrä vaikuttaa olennaisesti hulevesien hallintamenetelmien mitoitukseen.

6.3 Ilmastonmuutoksen vaikutus tulvimiseen

Nykytilanteeseen (kuva 24) verrattuna ilmastonmuutos (kuva 28) yksinään ei aiheuta uusien rumpujen tulvimista. Kaksi Koivukylässä sijaitsevaa rumpua (pl 702 ja 896) eivät enää tulvi tässä skenaariossa verrattuna nykytilanteeseen Kehäradan rakentamisen yhteydessä tehtävien rumpumuutosten takia. Näiden muutosten takia siis vuonna 2030 pelkkä ilmastonmuutos huomioon ottaen purossa tulvii vähemmän rumpuja ja harvemmalla virtaamatoistuvuudella nykytilanteeseen verrattuna. Ilmastonmuutoksen vaikutus on pienempi, kuin herkkyyksianalyysin vaikutus puron tulvimiseen. Täten ilmastonmuutoksesta aiheutuvat vaikutukset jäävät siis helposti pienemmiksi kuin herkkyyksianalyysin perusteella määritetty vaikutusten arviointiin liittyvä epävarmuus.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta virtaama tulee kasvamaan vuoteen 2030 mennessä, mutta tämä kasvu ei näy puron tulvimisessa rumpumuutosten takia. Ilmastonmuutoksen vaikutus virtaaman kasvuun on pieni verrattuna kaupungistumisen vaikutukseen vuonna 2030. Ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan virtaamaan enemmän pidemmällä aikavälillä, kuin seuraavan 20 vuoden aikana. Silloin myös huippuvirtaaman ajankohta saattaa muuttua aikaisemmaksi talveen, kun nousevien lämpötilojen johdosta suurin osa talvisadannasta voi tulla vetenä. Tämänkaltaisia tuloksia on saatu Tanskassa (Thodsen 2007) ja Saksassa (Samaniego & Bardossy 2006).

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesimääriin on tutkittu ilmastomallien avulla (Thodsen 2007, Grum et al. 2006). Ilmastomalleissa otetaan huomioon useita ilmastonmuutokseen vaikuttavia tekijöitä, kuten alueen sijainti sekä ennustetut hiilidioksidipitoisuudet. Tässä työssä ilmastonmuutoksen vaikutuksia puron virtaamaan on arvioitu Ilmatieteen laitokselta saatujen Vantaalle vuodelle 2030 ennustettujen sadantatietojen perusteella. Muut ilmastonmuutoksen aiheuttamat vaikutukset, kuten lämpötilan nousu, on jätetty huomiotta.

Ennustettu ilman lämpötilan nousu vähentää talviajan lumen kertymistä ja siten pienentää kevättulvia. Sen seurauksena kevätylivaluma voi pienentyä tulevaisuudessa.

Kohonneen ilman lämpötilan ja lisääntyvien sateiden takia syys- ja talviajan ylivalumien taas ennakoidaan kasvavan erityisesti Etelä-Suomessa (Veijalainen et al. 2012). Tässä työssä mitoitustuluma määritettiin kevätylivalumaa kuvaavan nomogrammin perusteella, mutta saatua arvoa käytettiin kuvaamaan yleisesti sateiden aiheuttamaa vuosittaista ylivirtaamaa. Tällöin Kylmäojan itähaaralla tapahtuvan vuosittaisen ylivirtaaman, joka todennäköisesti aiheutuu sateista, oletettiin kasvavan muuttuvassa ilmastossa samassa suhteessa kuin sateiden.

6.4 Kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen yhteisvaikutus tulvimiseen

Nykytilanteeseen verrattuna rumpujen tulviminen yleistyy sekä tulvivia rumpuja on enemmän. Kahden rumpukohdan tulviminen lakkaa Kehäradan aiheuttamien muutostöiden takia, mutta uusia tulvivia rumpuja on nykytilanteeseen verrattuna jopa 3. Tulvaongelmat ovat pahempia alavirran puolella uomaa, mikä on yhdenmukaista Sahoo & Smithin (2009) ja Boothin et al. (2002) tulosten kanssa. Saadut tulokset ovat myös samansuuntaisia, kuin Hamdin et al. (2010) tulokset Brysselissä, missä kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen yhteisvaikutuksesta ylivirtaama suurenee ja tulvat yleistyvät.

6.5 Kaupungistumisen, ilmastomuutoksen ja tasausaltaiden vedenpidätyksen yhteisvaikutus tulvimiseen

Nykytilanteeseen (kuva 24) verrattuna tässä skenaariossa (kuva 30) rummut paaluilla 702 ja 896 eivät tulvi enää ollenkaan, mikä johtuu Kehäradan aiheuttamista muutostöistä. Rumpu korven alaosassa tulvii tässä skenaariossa useammin, kuin nykytilanteessa. Tässä skenaariossa on nykytilanteeseen verrattuna yksi uusi tulviva rumpu Ilolan itäpuolella (pl 1462).

Tasausaltaiden vedenpidätyksen vaikutuksesta purossa tulvisi vuonna 2030 kaksi rumpua vähemmän, kun kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen vaikutukset otetaan huomioon verrattuna tilanteeseen, jossa tasausaltaat päästävät luonnonmukaisen määrän vettä puroon. Molemmat rummut sijaitsevat metsäalueella Ilolan itäpuolella. Toisen

rummun yli kulkee kävelypolku ja toisen rummun yli kulkee kevyen liikenteen väylä. Muutoin tulvivat rummut pysyvät samoina.

6.6 Epävarmuustekijät

Saatuihin tuloksiin liittyy epävarmuuksia, jotka vaikuttavat niiden luotettavuuteen. Epävarmuuksia on työssä käsitelty jo edeltävissä osioissa, mutta tässä osiossa kootaan epävarmuudet yhteen ja pohditaan niiden vaikutuksia työhön.

Seunan (1983) nomogrammistä saadut tulokset voivat olla hyvin suurpiirteisiä, eivätkä välttämättä kuvaa alueen todellista valumaa. Valuma-alueet, joiden perusteella nomogrammi on tehty, ovat olleet maankäytöltään jokseenkin erilaisia kuin tutkimuskohde. Nykytilanteessa kaupungit ovat kehittyneempiä, kuin 80-luvulla, jolloin nomogrammi on tehty. Tämän johdosta valunta voi olla nykypäivänä suurempaa, kun läpäisemätöntä pintaa on enemmän. Lisäksi osa puron vedestä tulee todellisuudessa pohjavedestä, mitä työssä ei otettu huomioon. Pohjavesien osuus puron virtaamasta on todennäköisesti hyvin vähäinen ylivirtaamatilanteessa.

Toisaalta, läpäisemättömillä pinnoilla päällystetyiltä alueilta usein aurataan lumet pois, ja ne kuljetetaan esimerkiksi lumenkaatopaikalle. Tämän johdosta läpäisemättömiltä pinnoilta voi todellisuudessa tulla vähemmän kevätvaluntaa, kuin luonnontilaisilta alueilta. Tästä syystä Seunan (1983) nomogrammi voisi antaa liian suuria arvoja kevätkeskiylivalumalle. Toisaalta, lunta voidaan myös tuoda valuma-alueen ulkopuolelta tai kasata puron ympärysalueelle, jolloin sulamisvedet valuisivat suoraan puroon.

Myös kaupungistumisen arviointiin liittyy epävarmuuksia. Osavaluma-alueet tulevat kehittymään hyvin eri tavalla, mitä työssä ei otettu huomioon. Kaupungistuminen tulee olemaan paikallista, jolloin myös valuman kasvu jakautuu epätasaisesti valuma-alueella. Kaupungistuminen tulee keskittymään Tuusulan puoleiselle valuma-alueelle sekä Leinelään. Suojeltu Kylmäojan korpi taas tulee todennäköisesti pysymään hyvin luonnontilaisena. Enemmän kaupungistuvilla osavaluma-alueilla valunta tulee kasvamaan enemmän, kuin luonnontilaisena pysyvillä osavaluma-alueilla.

Kaupungistumisen vaikutus valuman määrään voi myös vaihdella paikallisesti. Työssä käytetty Schuelerin (1994) kaavio (kuva 18) ei välttämättä kuvaa täsmällisesti valuma-alueen läpäisemättömän pinnan ja valuman määrän suhdetta. Valuman määrä voi kasvaa kaupungistumisen vaikutuksesta enemmän tai vähemmän, kuin kaavion perusteella on arvioitu. Läpäisemättömien pintojen sijoittelu vaikuttaa syntyviin valuntoihin. Jos läpäisemättömien pintojen ja uoman välissä on vettä läpäisevää pintaa, voi osa valunnasta imeytyä maahan.

Ilmastomuutoksen vaikutusten arviointiin liittyy epävarmuuksia, sillä sitä on vaikea ennustaa etenkin yksittäisille vuosille. Lisäksi ilmastomuutoksen vaikutuksia hulevesien määrään on hankala arvioida. Ilmastomuutos on epätasaista ja vaihtelevaa, ja siihen vaikuttaa sekä ihmistoiminta, että ilmaston luonnollinen vaihtelu. Ilmastomuutoksen vaikutuksesta kasvanutta ylivirtaamaa on vaikea arvioida, sillä sadannassa voi muuttua ilmastomuutoksen myötä sen määrä, intensiteetti ja vaihtelu.

Epävarmuutta lisää myös HEC-RAS:n soveltuvuus Kylmäojan itähaaran pienelle purovesistölle, jossa on kosteikko. Kosteikon morfologia on erilainen, kuin uomalla. HEC-RAS on jokimallinnukseen suunniteltu malli, joka ei ota laskennoissaan huomioon kosteikon erilaisia toimintoja. Kosteikko pidättää vettä ja tasaa virtaamia (Taylor 2012 keskeneräinen), joten malli on voinut laskea kosteikon alueen vedelle liian suuren virtausnopeuden. Kehäradan rakentaminen tuo myös omat haasteensa puron mallintamiseen. Rakennuspaikalla on muuttuvat olosuhteet ja siellä on väliaikaisia rumpuja. Lisäksi malli on karkea yksinkertaistus luonnosta, eikä siinä oteta kaikkea mahdollista huomioon. Esimerkiksi uoman karkeuskertoimeen vaikuttaa puron pohjamateriaali, esteet, kasvillisuus ja meanderointi. Karkeuskerroin vaihtelee todellisuudessa eri ajankohtina ja uoman poikkileikkauksen eri osissa jatkuvasti.

Herkkyysanalyysi osoitti, että mitoitusvaluman arviointiin liittyvä epävarmuus, jota kuvattiin 20 % poikkeutuksena nomogrammin mukaisesta mitoitusvaluman arvosta kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen vaikutukset huomioon ottaen, voi merkittävästi muuttaa skenaarioissa saatuja tuloksia suurimpien tulvatilanteiden esiintymisestä. Viidesosan suurempi virtaama aiheutti purossa tulvivien rumpujen määrän kasvamisen kolmasosalla. Mallin antamat tulokset siis muuttuvat selkeästi, jos

virtaama onkin arvioitua suurempi. Epävarmuustekijät yhdessä voivat kuitenkin vaikuttaa tuloksiin niitä kasvattavasti tai vähentävästi. Toisaalta epävarmuudet voivat myös kumota toistensa vaikutuksia, jos ne vaikuttavat tuloksiin päinvastaisesti. Herkkyysanalyysissa tapahtunut muutos puroon tulvimisessa oli suurempi, kuin pelkän ilmastonmuutoksen vaikutus puroon tulvimiseen. Tämä osoittaa ilmastonmuutoksen vaikutusten hukkuvan puron virtaaman määrittämisen epävarmuuksiin.

Tutkimuksessa olisi voinut tarkastella kaupungistumista paikallisemmin eri osavaluma-alueilla. Tällöin olisi kuitenkin tarvittu tarkempaa tietoa osavaluma-alueiden nykytilasta ja kehityksestä, sekä valunnasta. Valunnan määrän arvioimiseksi olisi voinut käyttää valuntaa kuvaavaa hydrologista mallia (esim. EPA 2012), johon olisi voinut syöttää sadantatietoja ja alueen hulevesienhallintamenetelmiä, kuten tasausaltaat. Hydrologista mallia varten kuitenkin tarvittaisiin tarkempaa tietoa osavaluma-alueiden nykyisistä ja tulevista läpäisemättömän pinnan määristä. Näin olisi saatu tarkemmat arviot siitä, paljonko puroon tulee vettä kultakin osavaluma-alueelta eri kaupungistumisskenaarioissa. Hydrauliseen malliin olisi voinut syöttää enemmän uoman poikkeileikkauksia sekä virtaamia useammasta kohdasta uomaa. Näin malli olisi kuvannut puroa ja sen hydraulista toimintaa tarkemmin.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia valuntaan olisi myös voinut tarkastella tarkemmin eri vuodenajoille ilmastomallien avulla, sillä ylivirtaamien ajankohta voi muuttua. Tarkastelun kohteena olisi voinut olla kevätylivirtaaman mahdollinen aikaistuminen talvelle ilmastonmuutoksen myötä (Veijalainen et al. 2012). Lähtötietojen rajallisuudesta johtuen näitä menetelmiä ei kuitenkaan toteutettu tässä työssä.

7 Johtopäätökset

Nykytilanteessa puro tulvii eniten Kehäradan työmaan kohdalla. Tämä johtuu siellä olevista väliaikaisista rummuista, jotka eivät ole tarpeeksi suuria puron huippuvirtaamille. Toinen haittaa aiheuttava tulviva kohta on korven alaosan virkistysreitillä kevyen liikenteen väylällä. Tulviminen voi haitata kulkuyhteyttä ja virkistysreitin käyttöä. Purossa on yhteensä 5 tulvivaa rumpukohtaa. Kahden osittain sedimentoituneen rummun puhdistaminen vähentäisi puron tulvimista yleisimmillä virtaamatoistuvuuksilla.

Kaupungistuminen tulee vaikuttamaan merkittävästi purojen tulvimiseen. Purojen tulviminen yleistyy ja tulvat kasvavat lisääntyvän läpäisemättömän pinnan johdosta. Kaupungistumisen vaikutettua puron virtaamaan vuonna 2030 purossa tulvii 6 rumpukohtaa. Näistä aiheutuu haittaa kevyelle liikenteelle 5 eri kohdassa. Lisärakentaminen voi johtaa sameuden ja eroosion lisääntymiseen, mikäli hulevesiä ei saada pidätettyä rakentamisen aikana.

Myös ilmastonmuutos tulee todennäköisesti yleistämään ja kasvattamaan tulvia, mutta sen vaikutus ei vielä näy selkeästi lähivuosina. Pelkän ilmastonmuutoksen vaikutuksesta purossa tulvii 3 rumpua, mikä on vähemmän kuin nykytilanteessa. Tulvakohtien vähentyminen johtuu puroon tehdyistä rumpumuutoksista. Virtaama on kuitenkin vuonna 2030 ilmastonmuutoksen vaikutuksesta hieman suurempi kuin nykytilanteessa. Ilmastonmuutos ei ehdi vaikuttaa merkittävästi vuoteen 2030 mennessä puron tulvimiseen, vaan ilmastonmuutoksen vaikutukset tulevat luultavasti näkymään selvemmin pitkällä aikavälillä. Tällöin myös huippuvirtaaman ajankohta saattaa muuttua. Kun lämpötilat nousevat, voi suurin osa talvisadannasta tulla vetenä. Silloin kevättulvat pienenisivät, mutta talvitulvat kasvaisivat.

Puron tulviminen lisääntyy kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutuksesta. Merkittävin tekijä puron tulvimisen kasvamisessa on läpäisemättömän pinnan lisääntyminen. Kuitenkin kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus puron tulvimiseen on huomattava. Tämä johtuu siitä, että ilmastonmuutos korostaa kaupungistumisen merkittäviä vaikutuksia tulvimiseen.

Kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutuksesta purossa on yhtä monta tulvivaa rumpukohtaa, kuin pelkän kaupungistumisen johdosta.

Mitoitusvirtaaman määrittämiseen liittyy epävarmuuksia, jotka voivat olennaisesti muuttaa saatuja tuloksia puron tulvimisesta. Ilmastonmuutoksen vaikutukset vuoteen 2030 mennessä jäävät epävarmuuksien vaikutuksia pienemmiksi.

Tuusulan tasausaltaat eivät normaalikäytössä juurikaan vaikuta puroon tulevaan virtaamaan. Kuitenkin tasausaltaiden täydellisellä vedenpidätyksellä voidaan hillitä kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen vaikutuksesta aiheutuvia tulvia, mutta ei estää niitä kokonaan. Tasausaltaiden vaikutus ulottuu vähiten puron alajuoksulle. Tasausaltaiden täyspidätyksen vaikutuksesta Ilolan itäpuolella tulvii kaksi rumpua vähemmän, mutta siitä alajuoksulle päin ne eivät enää vaikuta tulviin rumpuihin. Tasausaltaat eivät siis yksinään edes täydellisellä vedenpidätyksellä riitä estämään puron tulvimista kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen vaikutettua puron virtaamaan. Toisaalta, altaita ei alun perin ole suunniteltukaan hallitsemaan koko itähaaran tulvimista, vaan ainoastaan Tuusulan puoleisen ja korven alueen virtaamaa. Tasausaltaiden vedenpidätyksen vaikutuksesta kuitenkin yksi kävelypolku ja kevyen liikenteen väylä lakkaavat tulvimasta.

Suurimmat ongelmat vuonna 2030 tulvivista rummuista aiheutuu Kehäradan alittavan kevyen liikenteen väylän kohdalla. Tulvia esiintyy myös Ilolan itäpuolen ja korven alaosan metsäalueiden virkistysreittien kevyen liikenteen väylillä. Näissä kohdissa kulkuyhteys voi katketa. Hulevesien tasausaltailla voidaan vaimentaa kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen vaikutuksia puron tulvimiseen. Ylävirrassa olevien altaiden vaikutus ei kuitenkaan ulotu uoman alavirralla asti, joten myös muita keinoja tulvien hillitsemiseen tarvitaan.

Tulvimispaikkana Kehärata on vahinkojen perusteella todennäköisesti turvallisempi, kuin Ilola. Ilolassa sijaitsee asuintaloja hyvin lähellä puroa, jolloin tulva voisi aiheuttaa mittavat taloudelliset ja fyysiset vahingot. Kehäradan kohdan tulviessa kevyen liikenteen kulkuyhteys katkeaa, josta ei todennäköisesti aiheudu suoria taloudellisia tai fyysisiä haittoja.

Kaupungistuminen vaikuttaa virtaamaan monin paikoin selvästi sitä lisäävästi. Virtaaman kasvamisen määrä kuitenkin riippuu paljon valunnan määrittämistavasta ja huomioon otettavista asioista. Tämän takia tulevaisuutta varten arvioidut virtaamat eivät ole tarkkoja. Ilmastonmuutoksen vaikutus virtaamaan vaihtelee alueittain. Monissa paikoissa virtaama näyttäisi kasvavan ilmastonmuutoksen myötä yleistyvien ääritapahtumien johdosta, mutta muutosten toteutuminen voi viedä useita vuosikymmeniä.

8 Jatkosuosituksset

Uoman tulvimisen hillitsemiseksi valuma-alueella tulisi rajoittaa läpäisemättömän pinnan määrää. Läpäisemätöntä pintaa tulisi rakentaa mahdollisimman vähän sellaisille alueille, joista hulevedet valuvat suoraan uomaan. Hulevesien hallinta tulisi järjestää niiden syntypaikalla, jotta uoma ei tulvi tai siirrä tulvimista alajuoksulle. Tuusulan tasausaltaiden kannattaa olla aktiivisesti käytössä etenkin silloin, kun kevätvalunta on huipussaan. Sedimentoituneet rummut tulisi putsata pikimmiten. Kylmäojan korvessa sijaitsevaa kosteikkoa tulee suojella, sillä se tasaa puron veden määrää ja laatua.

Puron tulvimista tulisi hallita siten, että tulvimiselle järjestetään paikka, jossa se ei aiheuta vahinkoa. Esimerkiksi korven eteläpuolelle Ilolaan tai uudisrakennusalueelle Leinelään voisi rakentaa kosteikon tai tulvatasanteita, jossa puro saa tulvia. Tällöin puron alajuoksun haitalliset tulvat voisivat pienentyä. Tulva-alueilla puron reunoja tulisi suojella eroosiolta kiviaineksella tai vesikasvillisuudella. Jos puron rumpuja aiotaan suurentaa, tulee varmistaa, ettei tulva siirry alajuoksulle. Rumpujen suurentamisen sijaan olisi kuitenkin suositeltavampaa viivyttää hulevesiä. Uoma kannattaa säilyttää luonnontilaisen mutkittavana ja epätasaisena, jolloin se hidastaa virtausta tehokkaammin. Uoman suorilla kohdilla esimerkiksi korven eteläpuolella luonnontilaista mutkittelua voisi lisätä.

Puron veden laatu vaikuttaa olevan nykytilanteessa tyydyttävä. Veden laatua voisi parantaa hallitsemalla puroon tulevaa valuntaa. Hydrologisen mallin (esim. EPA 2012) avulla voisi tarkastella, millä alueilla hulevesien hallintaa kannattaa erityisesti kehittää. Rantavyöhykkeellä ja etenkin uoman ympärillä tulisi säilyttää metsää ryppäinä niin paljon kuin mahdollista. Myös kosteikkojen lähellä tulisi säilyttää metsää sekä kasvillisuutta. Metsä ja kasvillisuus hidastavat veden virtausta ja pidättävät epäpuhtauksia. Uoman yli menevät tieristeykset ja rummut tulisi minimoida. Kaupungistumisen edetessä rakentamisen aikaista eroosiota on tärkeää hallita, jotta se ei vaikuta uoman fysikaaliseen ja kemialliseen tilaan. Uoman tilaa tulisikin seurata säännöllisesti kaupunkien kehittyessä. Näin uoman tila voisi pysyä vakaana niin fysikaalisesti, kemiallisesti kuin biologisestikin.

Taajamarakenteita voisi tiivistää Tuusulassa ja Vantaalla enemmän ylös- ja alaspäin, kuin leveyssuunnassa. Tällöin viheralueille jäisi enemmän tilaa. Viheralueet edistävät kaupunkiympäristön sopeutumista ilmastonmuutokseen viilentämällä ilmaa ja tarjoamalla suojaa vesistöille. Kaupunkisuunnittelua tulisi kehittää siten, että kaupungistuminen ja ilmastonmuutos otetaan kokonaisvaltaisesti huomioon. Vain siten voidaan määrittää oikeat sopeutumistoimet muuttuvaan ympäristöön.

Lähteet

- Aaltonen, J., Hohti, H., Jylhä, K., Karvonen, T., Kilpeläinen, T., Koistinen, J., Kotro, J., Kuitunen, T., Ollila, M., Parvio, A., Pulkkinen, S., Silander, J., Tiihonen, T., Tuomenvirta, H. & Vajda, A. 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU). Suomen ympäristö 31/2008, Luonnonvarat. 123 s. Suomen ympäristökeskus (SYKE). ISBN 978-952-11-3210-0.
- Akar, I., Kalkan, K., Maktav, D. & Özdemir, Y. 2009. Determination of Land Use Effects on Flood Risk by Using Integration of GIS and Remote Sensing. RAST 2009 - Proceedings of 4th International Conference on Recent Advances Space Technologies. s. 23-26.
- Arnold, C.L. Jr. & Gibbons, C.J. 1996. Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. Journal of the American Planning Association. 62:2. s. 243-258.
- Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. 2011. Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot - haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. Suomen ympäristö 26/2011. 74 s. Suomen ympäristökeskus (SYKE). ISBN 978-952-11-3932-1.
- BMT. 2011. TUFLOW Products. [Verkkosivu]. BMT Group Ltd. [Viitattu 7.10.2012]. Saatavissa: <http://www.tuflow.com/Products.aspx>
- Booth, D.B. & Jackson, C. R. 1997. Urbanization of aquatic systems: Degradation thresholds, stormwater detection, and the limits of mitigation. Journal of the American Water Resources Association. 33:5. s. 1077-1090.
- Booth, D.B., Hartley, D. & Jackson, R. 2002. Forest Cover, Impervious-Surface Area, and the Mitigation of Stormwater Impacts. Journal of the American Water Resources Association. 38:3. s. 835-845.
- Booth, D.B., Karr, J.R., Schauman, S., Konrad, C.P., Morley, S.A., Larson, M.G. & Burges, S.J. 2004. Reviving Urban Streams: Land Use, Hydrology, Biology, and Human Behavior. Journal of the American Water Resources Association. 03187. s. 1351-1364.
- Brunner, G.W. 2010a. HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 4.1. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center (HEC). Davis, CA.
- Brunner, G.W. 2010b. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC). Davis, CA.
- Chang, H., Lafrenz, M., Jung, I.W., Figliozzi, M., Platman, D. & Pederson, C. 2010. Potential Impacts of Climate Change on Flood-Induced Travel Disruptions: A Case Study of Portland, Oregon, USA. Annals of the Association of American Geographers. 100:4. s. 938-952.

- DHI. 2011. MIKE 11 - river modelling unlimited. [Verkkosivu]. DHI Group. [Viitattu 7.10.2012]. Saatavissa: <http://www.dhisoftware.com/Products/WaterResources/MIKE11.aspx>
- EPA. 2012. Storm Water Management Model (SWMM). [Verkkosivu]. U.S. Environmental Protection Agency. [Viitattu 24.8.2012]. Saatavissa: <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 23.10.2000 yhteisön vesipolitiikan puitteista. Euroopan yhteisön virallinen lehti nro L 327, 22.12.2000. 72 s.
- FCG Planeko Oy. 2009. Suomenojan tulvakartoitus ja tulvareittiselvitys. Raportti 101-D2070. [Verkkodokumentti]. 46 s. [Viitattu 15.8.2012]. Saatavissa: <http://www.espool.fi/download/noname/%7B77D4738F-4EA7-45AC-A713-80F456A16CAE%7D/13768>
- FCG Finnish Consulting Group Oy. 2010a. Kylmäojan pääuoman mallinnus. Raportti 255-D2587. 9 s.
- FCG Finnish Consulting Group Oy. 2010b. Kulomäentien työpaikka-alueen hulevesien hallinnan suunnittelu. Yleissuunnitelman tarkistus. Raportti 0674-P10701. 17 s.
- FCG Finnish Consulting Group Oy. 2012. Östersundomin yleiskaava-alueen hulevesien hallinnan yleissuunnitelma. Loppuraportti 0100-P15645. [Verkkodokumentti]. 70 s. [Viitattu 6.8.2012]. Saatavissa: http://www.hel2.fi/ksv/ostersundom/yleiskaavaluonnos_hulevesien_hallinta_130212.pdf
- FISRWG. 1998. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. [Verkkodokumentti]. By the Federal Interagency Stream Restoration Working Group. 10/98. [Viitattu 3.2.2012]. ISBN-0-934213-59-3. Saatavissa: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_MEDIA/nrcs143_024824.jpg
- Fujita, M. & Thisse, J. 2002. Economics of agglomeration: cities, industrial location, and regional growth. Cambridge. Cambridge University Press. 466 s. ISBN 0-521-80138-9.
- Grum, M., Joergensen, A.T., Johansen, R.M. & Linde, J.J. 2006. The effect of climate change on urban drainage: an evaluation based on regional climate model simulations. Water Science & Technology. 54:6-7. s. 9-15.
- Halcrow. 2012. Isis by Halcrow. [Verkkosivu]. Halcrow Group. [Viitattu 7.10.2012]. Saatavissa: <http://www.halcrow.com/isis/default.asp>
- Hamdi, R., Termonia, P. & Baguis, P. 2011. Effects of urbanization and climate change on surface runoff of the Brussels Capital Region: A case study using an urban soil-vegetation-atmosphere-transfer model. International Journal of Climatology. 31:13. s. 1959-1974.
- Hamill, L. 2001. Understanding Hydraulics. Second edition. New York, USA. 552 s. ISBN 13 978-0-333-77906-4.

- Honkanen, J., Leino, A., Siikström, H., Kohtala, H., Vähämäki, J., Mäntylä, K., Maidell-Munster, L., Rantataro, M., Salminen, O.M., Siren, P., Jäntti-Hasa, P., Horn, S., Juopperi, S., Ukkola, S., Rantalainen, S., Kuusiola, T., Kristiansson, T., Henriksson, T. & Rimpiläinen, U.M. 2011. Ympäristön tila Vantaalla. Vantaan kaupunki, maankäyttö ja ympäristö, ympäristökeskus. C5. 95 s. ISBN 978-952-443-350-1.
- HSY, sopeutumisstrategian johtoryhmä. 2012. Pääkaupunkiseudun ilmastonmuutokseen sopeutumisen strategia. Helsingin seudun ympäristöpalvelut –kuntayhtymä HSY. HSY:n julkaisuja 10/2012. 32 s. ISBN 978-952-6604-52-7.
- Innovyze. 2012. InfoWorks RS. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.10.2012]. Saatavissa: http://www.innovyze.com/products/infoworks_rs/
- Insinööritoimisto Pekka Leiviskä. 2008. Keravanjoen alaosan yksityiskohtaiset tulvavaarakartat. [Verkkodokumentti]. 24 s. [Viitattu 24.8.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=105628&lan=sv>
- ISO 748. 2007. Hydrometry. Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats. 46 s.
- Jaakonaho, O. 2001. HEC-RAS River Analysis System Käyttöohje versio 3.0. Suomen Ympäristökeskus. Vesivarayksikkö. 169 s.
- Janatuinen, A. 2012 keskeneräinen. Vantaan virtavesiselvitys.
- Jormola, J. 2008. Vesisuhteiden hallinta kaupunkisuunnittelussa. Yhdyskuntasuunnittelu. 46:1. s. 40-54.
- Kaitera, P. 1949. Nomogrammi teoksessa Mustonen, S. (toim.). 1986. Sovellettu hydrologia. Helsinki. Vesiyhdistys r.y. s. 215. ISBN 951-95555-1-X.
- Kalso, M. 2012. Kylmäojan itähaaran valuma-alueen topografia. [Sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Talvinen, T. Lähetetty 24.8.2012 klo 15.21 (GMT +0200). Saatavissa: luottamuksellinen.
- Katila, M. & Tomppo, E. 2000. Selecting Estimation Parameters for the Finnish Multisource National Forest Inventory. Remote Sensing of Environment. 76:1. s. 16-32.
- Kaupunkiliitto. 1979. Vesijohtojen ja viemäreiden suunnittelu. Helsinki. Kaupunkiliiton julkaisu B63. 316 s. ISBN 951-759-081-4.
- Kaupunkimittaustosasto. 2012. Karttapalvelu. [Verkkosivu]. Helsinki. [Viitattu 8.10.2012]. Saatavissa: <http://kartta.hel.fi/opas/>
- Kersalo, J. & Pirinen, P. 2009. Suomen maakuntien ilmasto. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2009:8. 185 s.

- Krebs, G. 2009. Development of land-use within the urbanizing Kylmäoja watershed. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Espoo. 184 s.
- Kuntaliitto. 2012. Hulevesiopus. [Verkkodokumentti]. 262 s. [Viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: http://www.kunnat.net/fi/asiantuntijapalvelut/tyt/tekntoimi/hulevesien_hallinta/Documents/Hulevesiopus%2016711.pdf
- Kuusisto, E. 1985. Nomogrammi teoksessa Mustonen, S. (toim.). 1986. Sovellettu hydrologia. Helsinki. Vesiyhdistys r.y. s. 216. ISBN 951-95555-1-X.
- Kuusisto, P. 2002. Kaupunkirakentamisen vaikutus pieniin valuma-alueisiin ja vesistöihin Suomessa. Helsinki. Maantieteen laitos. Helsingin yliopiston maantieteen laitoksen julkaisuja B48. 69 s. ISBN 952-10-0874-1.
- Kärkäs, N. 2012. Bodominjärven ja Matalajärven säännöstelyn muutosmahdollisuudet, luonnonmukaiset vesirakenteet vesistösäännöstelyssä. Diplomityö. Aalto yliopisto, yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Espoo. 116 s.
- Lehner, B., Doell, P., Alcamo, J., Henrichs, T. & Kaspar, F. 2006. Estimating the Impact of Global Change on Flood and Drought Risks in Europe: A Continental, Integrated Analysis. Climatic Change. 75:3. s. 273-299.
- MRL. 1999. L 1. 9 §. 1999/132.
- Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., Honkatuki, J., Järvinen, H., Liski, J., Merivirta, R. & Paunio, M. 2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. Maa- ja metsätalousministeriö. MMM:n julkaisuja 1/2005. 272 s. ISBN 952-453-200-X.
- McBride, M. & Booth, D.B. 2005. Urban Impacts on Physical Stream Condition: Effects of Spatial Scale, Connectivity, and Longitudinal Trends. Journal of the American Water Resources Association. 04032. s. 565-580.
- Metsäkeskus. 2012. Luonnonhoitohankkeena toteutettavan kosteikon suunnittelu. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 25.8.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=137082&lan=fi>
- Moradkhani, H., Baird, R.G. & Wherry, S.A. 2010. Assessment of climate change impact on floodplain and hydrologic ecotones. Journal of Hydrology. 395. s. 264-278.
- Moscip, A.L. & Montgomery, D.R. 1997. Urbanization, Flood Frequency, and Salmon Abundance in Puget Lowland Streams. Journal of the American Water Resources Association. 33:6. s. 1289-1297.
- Mustonen, S. (toim.). 1986. Sovellettu hydrologia. Helsinki. Vesiyhdistys r.y. 436 s. ISBN 951-95555-1-X.

- Olsson, J., Berggren, K., Olofsson, M. & Viklander, M. 2009. Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: A case study in Kalmar City, Sweden. *Atmospheric Research*. 92. s. 364–375.
- Rakennustaito. 2001. Mustapuron ja sadevesiviemäreiden mallinnus Itä-Helsingissä. [Verkkolehti]. 7/2001. [Viitattu 24.8.2012]. Saatavissa: http://www.rakennustieto.fi/lehdet/rakennustaito/index/lehti/unnamed_1656.html
- Rantalainen, S. 2004. Luonnonsuojeluselvitys YK009. Vantaan kaupunki, kaupunkisuunnittelu, ympäristökeskus. C15:2004, KSY 11/2004. [Verkkodokumentti]. 21 s. [Viitattu 3.10.2012]. Saatavissa: http://www.vantaa.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/vantaa/embeds/vantaa_wwwstructure/30724_Luonnonsuojelualueet_nettiin.pdf
- Rosenberg, E.A., Keys, P.W., Booth, D.B., Hartley, D., Burkey, J., Steinemann, A.C. & Lettenmaier, D.P. 2010. Precipitation extremes and the impacts of climate change on stormwater infrastructure in Washington State. *Climatic Change*. 102. s. 319–349.
- Ruosteenoja, K. 2012. Sadetietoja. [Sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Talvinen, T. Lähetetty 16.4.2012 klo 16.14 (GMT +0200). Saatavissa: luottamuksellinen.
- Salminen, O. 2010. Rakennettu taajamaluonto suojelee Vihdin Enäjärveä. *Ympäristö*. 3/2010. s. 28–31.
- Samaniego, L. & Bárdossy, A. 2006. Simulation of the impacts of land use/cover and climatic changes on the runoff characteristics at the mesoscale. *Ecological modeling*. 196. s. 45–61.
- Schueler, T.R.A. 1994. The Importance of Imperviousness. *Watershed Protection Techniques*. 1:3. s. 100–111.
- Schueler, T.R.A., Fraley-McNeal, L.B. & Cappiella, K.B. 2009. Is impervious cover still Important? Review of recent research. *Journal of Hydrologic Engineering*. 14:4. s. 309–315.
- Seitz, J. & Escobedo, F. 2008. Urban Forests in Florida: Trees Control Stormwater Runoff and Improve Water Quality. School of Forest Resources and Conservation Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. FOR184. s. 1–4.
- Setälä, H., Niemelä, J., Loikkanen, H.A., Kortteinen, M., Vaattovaara, M., Yli-Pelkonen, V., Kurunmäki, K., Ristisuo, H., Ruth, O., Immonen, S. & Sillanpää, N. 2009. How to construct ecologically and socially sustainable urban environments? – A literature review on climate change, runoff waters and land-use impacts in urban environments. Helsinki. Department of Geography. Publications Instituti Geographici Universitatis Helsingiensis C13. 37 s. ISBN 978-952-10-5938-4.

- Seuna, P. 1982. Pienten alueiden valumien toistuvuusanalyysi. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 48. Helsinki. Vesihallitus. 77 s. ISBN 951-46-6721-2.
- Seuna, P. 1983. Influence of physiographic factors on maximum runoff. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 50. Helsinki. Vesihallitus. s. 5-28. ISBN 951-46-6723-9.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R.B., Berntsen, T., Bindoff, N.L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J.M., Hegerl, G.C., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B.J., Joos, F., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., Raga, G., Ramaswamy, V., Ren, J., Rusticucci, M., Somerville, R., Stocker, T.F., Whetton, P., Wood, R.A. & Wratt, D. 2007. Technical Summary. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA. [Verkkodokumentti]. 91 s. [Viitattu 2.3.2012]. Saatavissa: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-ts.pdf>
- Suriya, S. & Mudgal, B.V. 2012. Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed - A case study. Journal of Hydrology. 412-413. s. 210-219.
- SYKE. 2008. Ekosysteemipalvelut – tulevaisuutemme turva. [Verkkodokumentti]. 2 s. [Viitattu 22.8.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=87177&lan=fi>
- SYKE. 2012. Yleistietoa vesistömallijärjestelmästä. [Verkkosivu]. Valtion ympäristöhallinto. [Viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=11404&lan=fi>
- Tarkkala, J. 2002. Helsingin Yleiskaavavaluonnos 2002, vaikutusten arviointi. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä. 2002:9. [Verkkodokumentti]. 13 s. [Viitattu 15.9.2012]. Saatavissa: <http://www.hel.fi/static/ksv/www/yk2002/Vaikutukset%20pintavesiin%20ja%20maapern%20Arvio8.pdf>. ISSN 1458-9664.
- Taylor, A. 2012 keskeneräinen. Pro Gradu. Regulation of water quality and water quantity by an urban forested natural wetland. Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos. Helsinki.
- Tiensuu, M. 2008. Vantaan Kylmäojan ekologinen tila pohjaeläimistön perusteella arvioituna. Pro gradu. Helsingin yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos. Helsinki. 39 s.
- Thodsen, H. 2007. The influence of climate change on stream flow in Danish rivers. Journal of Hydrology. 333. s. 226-238.
- Tilastokeskus. 2012. Kaupungistuminen. [Verkkosivu]. Valtioneuvoston kanslia. [Viitattu 20.4.2012]. Saatavissa: <http://www.findikaattori.fi/fi/56>

- Tuusulan kunta. 2008. Liite 17 Kaavakartta 5000. Kulomäentien työpaikka-alue. Asemakaava nro. 3424. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 31.8.2012]. Saatavissa: <http://195.237.116.244/ktwebbin/dbisa.dll/ktwebscr/epjattn.htm?VALT+16%2e6%2e2008%2018%3a00%3a00+101+0>
- Tuusulan kunta. 2012a. Tietoa Tuusulasta. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.6.2012]. Saatavissa: http://www.tuusula.fi/index.tmpl?sivu_id=1016
- Tuusulan kunta. 2012b. Rakentamisen tilastointi. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.6.2012]. Saatavissa: http://www.tuusula.fi/sivu.tmpl?sivu_id=1127
- Valkama, P. 2012. Kylmäojan itähaaran vedenlaatu. [Sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Talvinen, T. Lähetetty 21.6.2012 klo 15.42 (GMT +0200). Saatavissa: luottamuksellinen.
- Vantaan kaupunki. 2007. Vantaan metsäsuunnitelma 2008-2017.
- Vantaan kaupunki. 2008. Leinälä 1. Asemakaava. Kaava-alueen numero 700400. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 30.8.2012]. Saatavissa: http://www.vantaa.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/vantaa/embeds/vantaa/wwwstructure/30620_700400.pdf
- Vantaan kaupunki. 2009. Hulevesiohjelma. Vantaan kaupunki, Kuntatekniikan keskus C16:2009, Kuntek 2/2009. 31 s.
- Vantaan kaupunki & FCG Planeko Oy. 2009. Vantaan pienvesiselvitys. Vantaan kaupunki, Kuntatekniikan keskus, Ympäristökeskus. C6:2009, Kuntek 1/2009. 86 s. ISBN 952-443-283-8.
- Vantaan kaupunki. 2011. Uoman poikkileikkauksen mittapisteet. Maastotutkimusohjelma.
- Vantaan kaupunki. 2012a. Väestö 1890-2012. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.6.2012]. Saatavissa: http://www.vantaa.fi/tietoa_vantaasta/tilastot_ja_tutkimukset/tilastot/vaesto
- Vantaan kaupunki. 2012b. Rakentaminen Vantaalla 2011, Rakennus- ja asuntokanta 1.1.2012. B4:2012. 149 s. ISBN 978-952-443-382-2.
- Vantaan kaupunki. 2012c. Metsät. [Verkkosivu]. [Viitattu 15.8.2012]. Saatavissa: http://www.vantaa.fi/fi/ymparisto_ja_luonto/luonnon_monimuotoisuus/erilaisia_elinymparistoja/metsat
- VanWoert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Rugh, C.L., Fernandez, R.T. & Xiao, L. 2004. Journal of Environmental Quality. 34:3. s. 1036-1044.
- Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M., & Aaltonen, J. 2012. Suomen vesivarat ja ilmastomuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. Suomen ympäristö 16/2012, Vesikeskus. 138 s. Suomen ympäristökeskus (SYKE). ISBN 978-952-11-4017-4.

- WMO. 2008. Urban Flood Risk Management - A Tool for Integrated Flood Management. WMO/GWP Associated Programme on Flood Management. APFM Technical Document No. 11, Flood Management Tools Series. s. 1-38.
- Wu, W. 2008. Computational River Dynamics. Great Britain. 487 s. ISBN 978-0-415-44961-8.
- Xiao, Q. & McPherson, D.E.G. 2009. Testing a Bioswale to Treat and Reduce Parking Lot Runoff. USDA Forest Service. [Verkkodokumentti]. 26 s. [Viitattu 1.10.2012].
Saatavissa:
http://www.fs.fed.us/psw/programs/uesd/uep/products/psw_cufr761_P47ReportLRes_AC.pdf.

Liitteet

Liiteluettelo

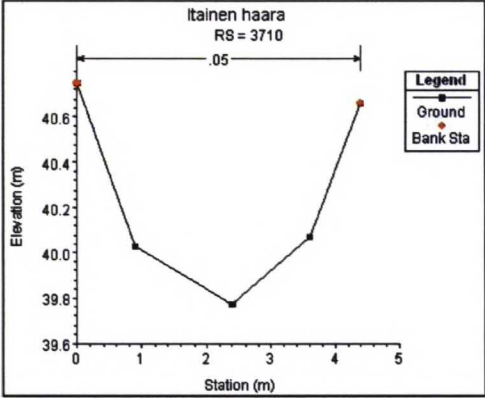
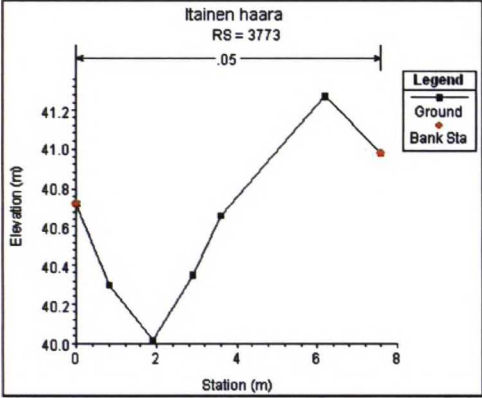
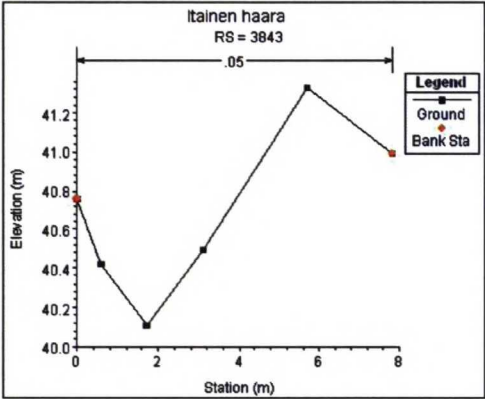
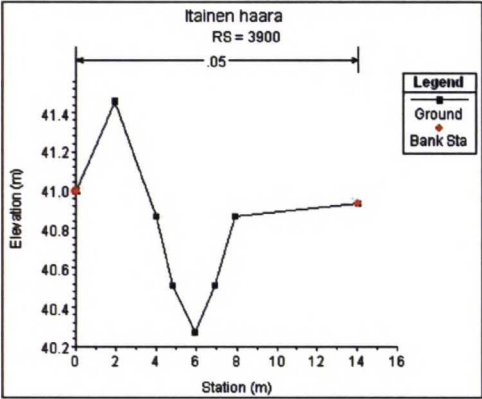
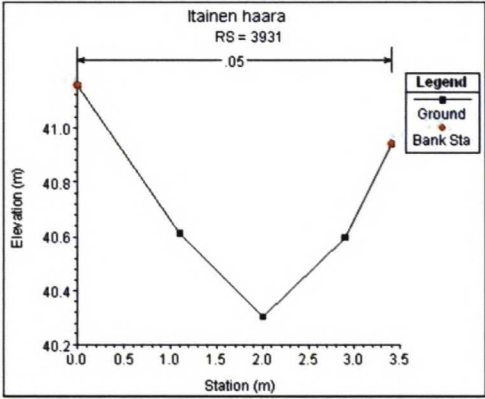
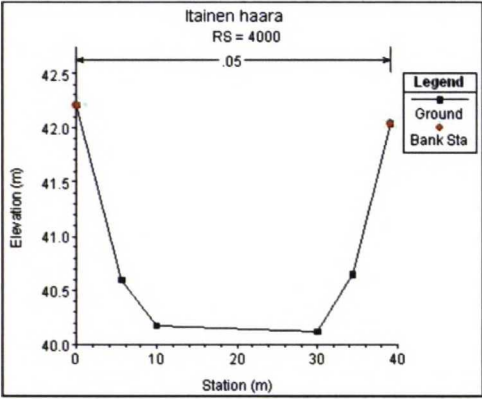
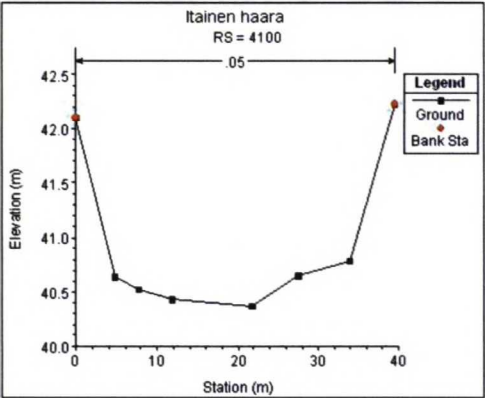
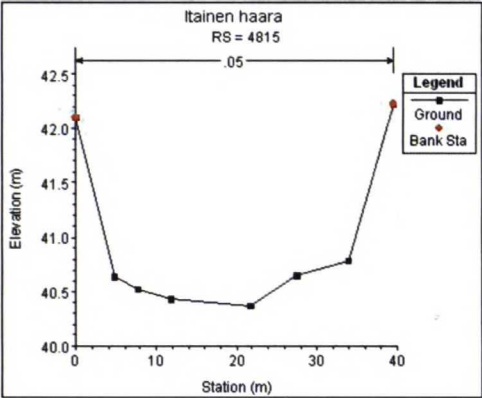
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta

Liite 2 Pituusleikkaukset

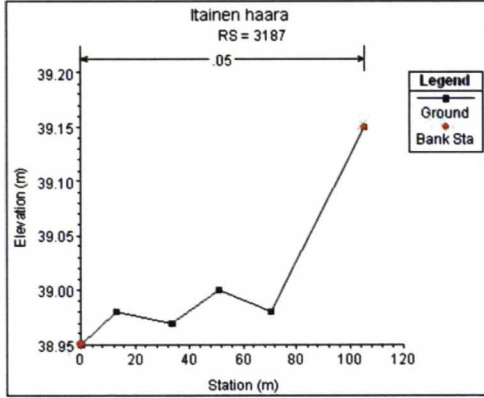
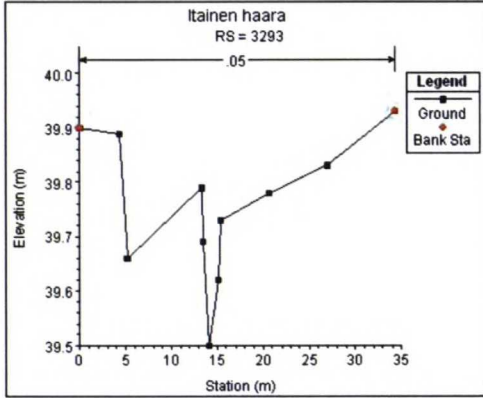
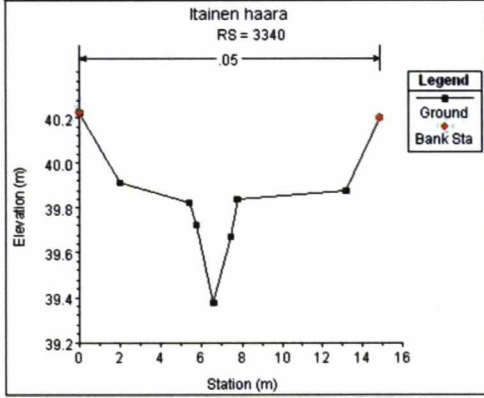
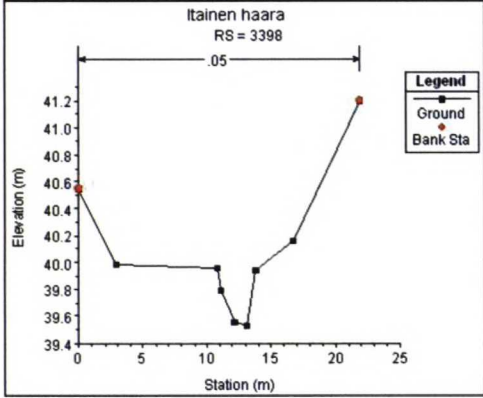
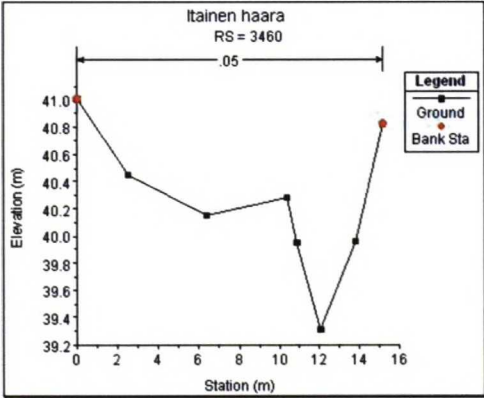
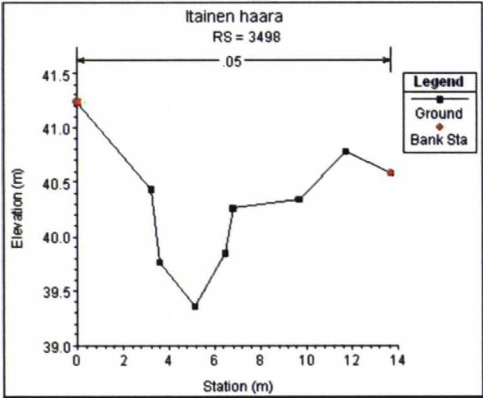
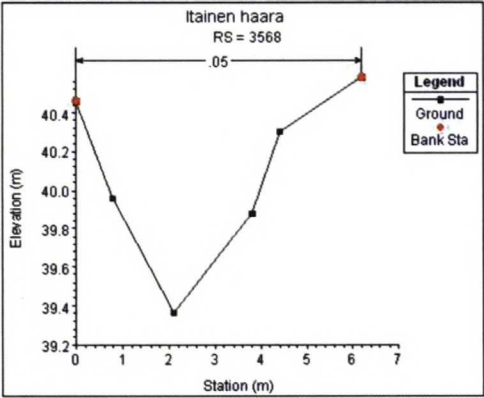
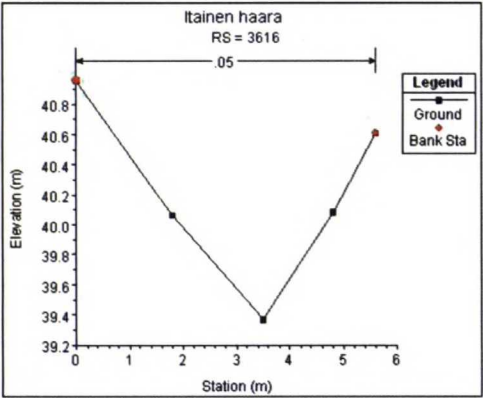
Liite 3 Vedenkorkeudet

Liite 4 Tulvakartat

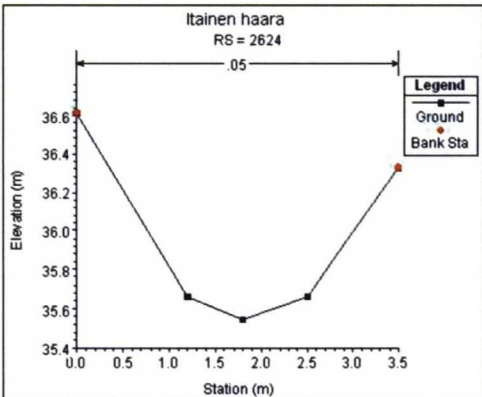
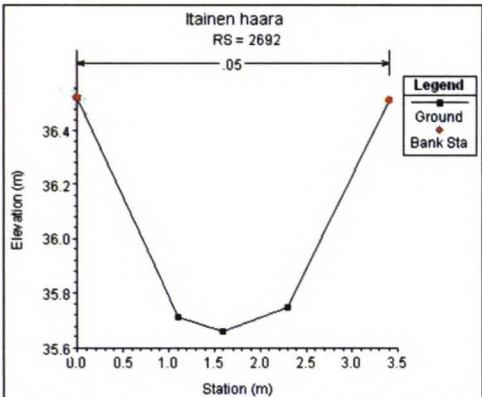
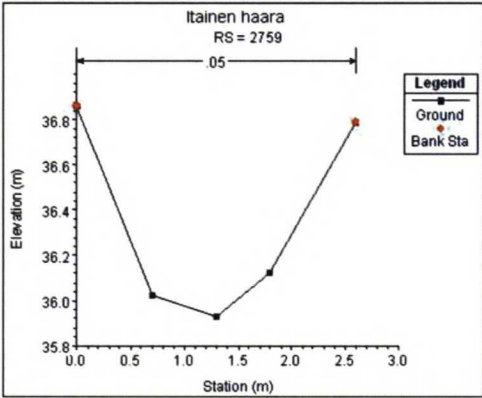
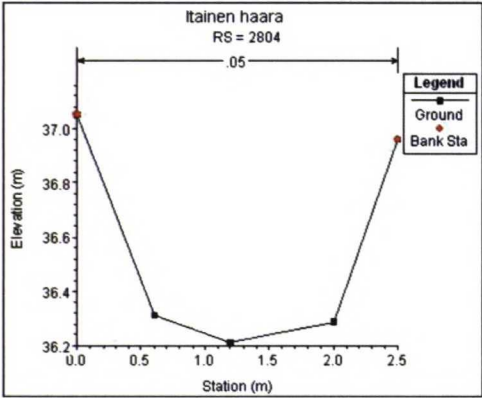
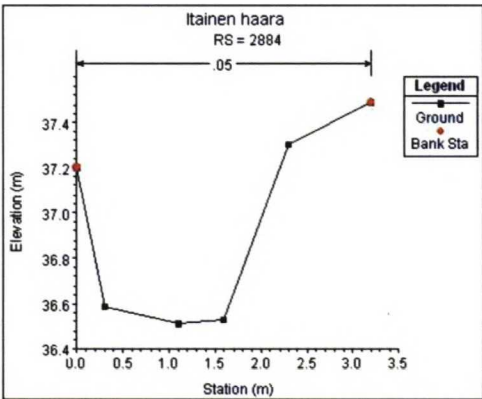
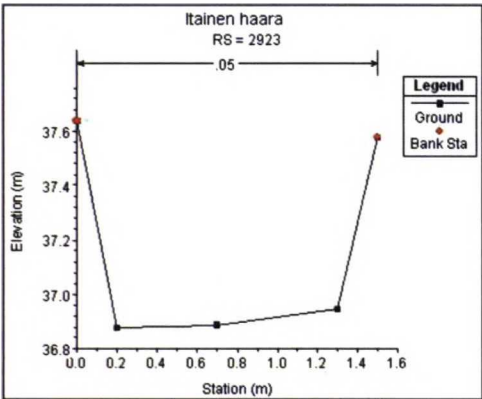
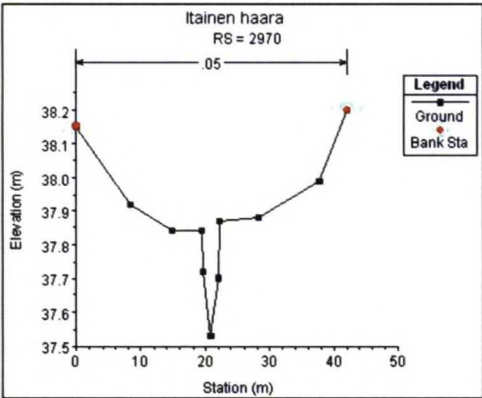
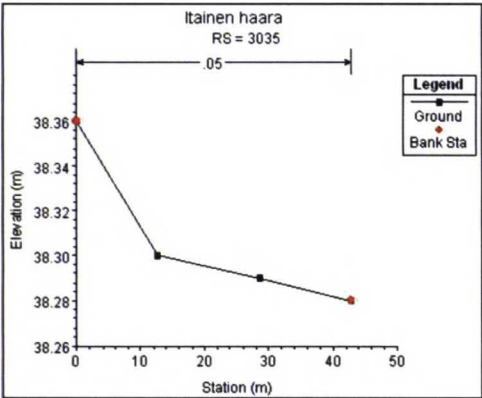
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (1/19)



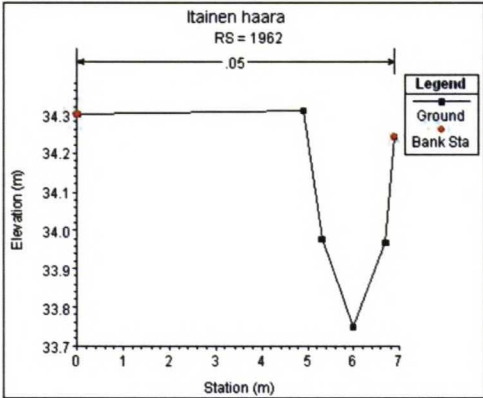
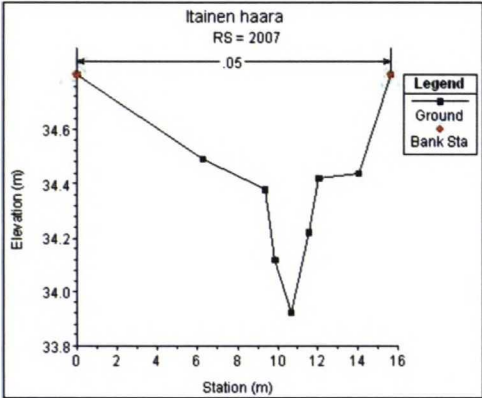
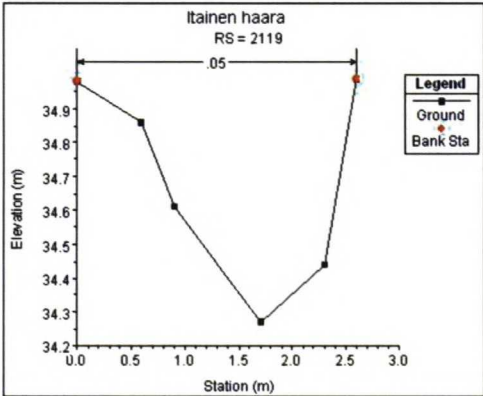
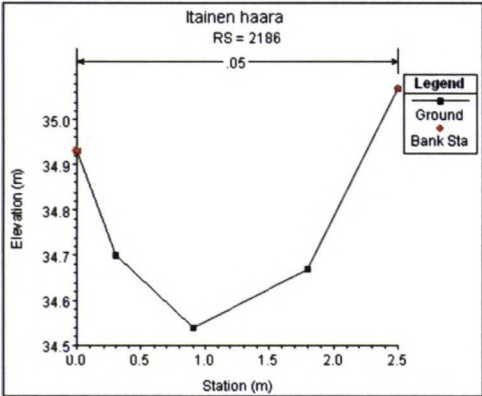
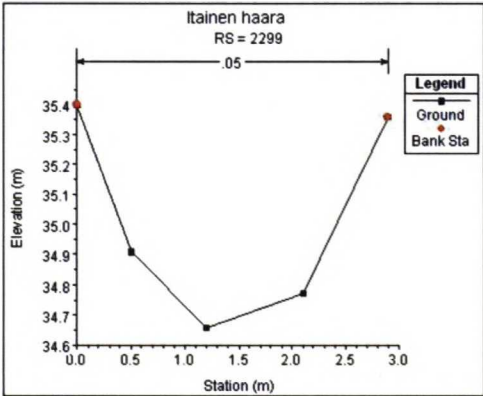
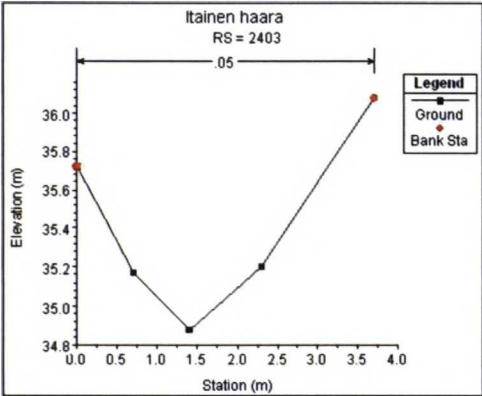
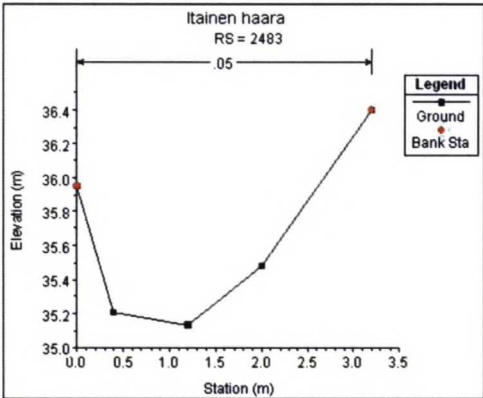
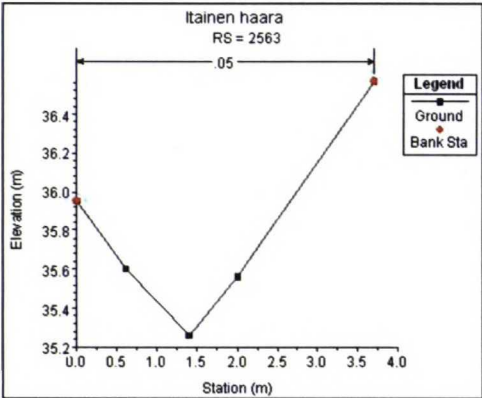
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (2/19)



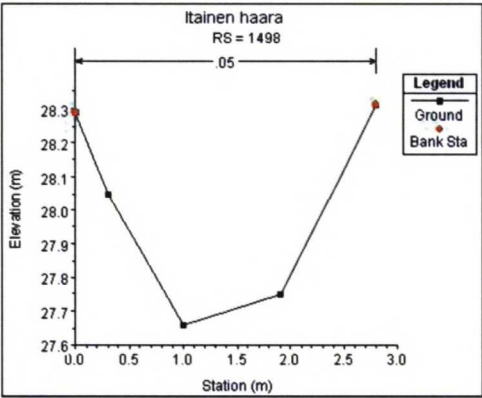
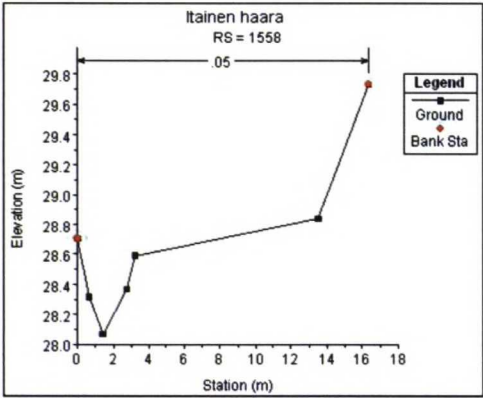
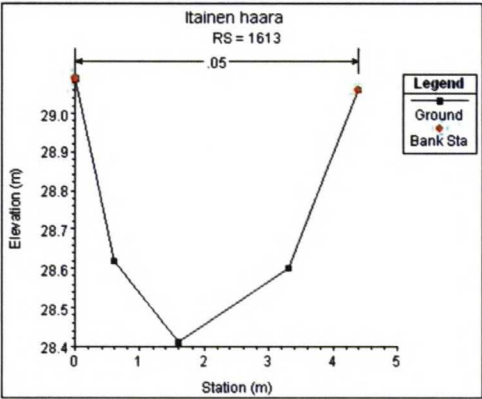
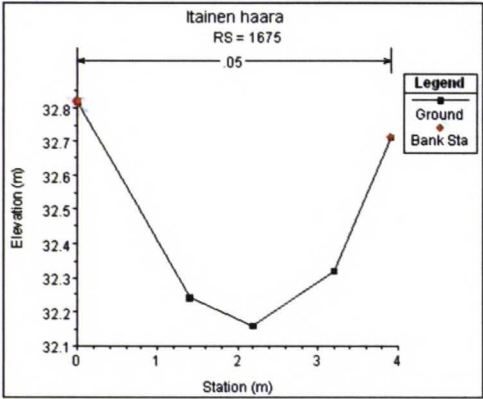
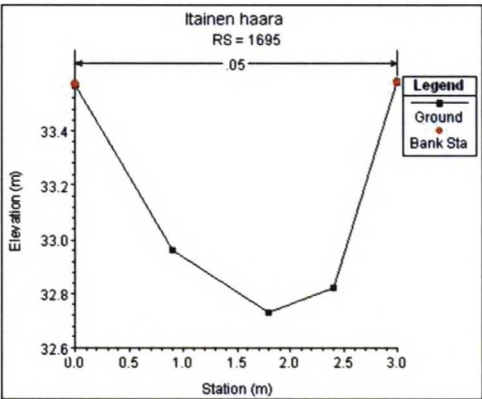
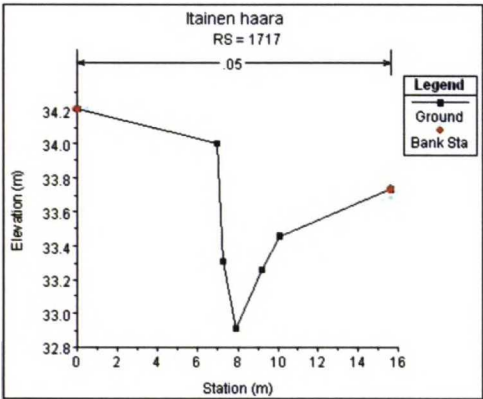
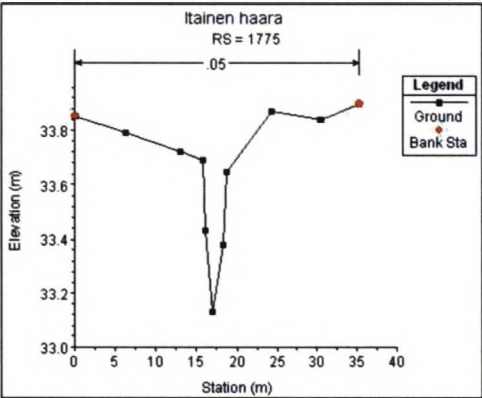
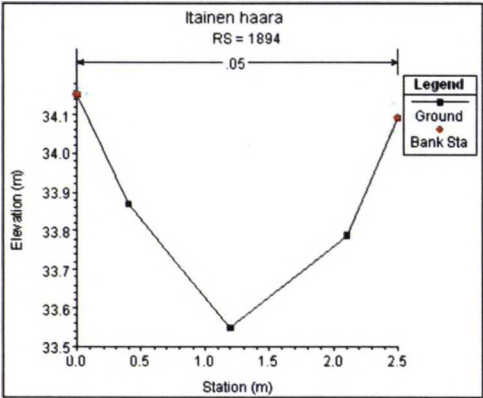
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (3/19)



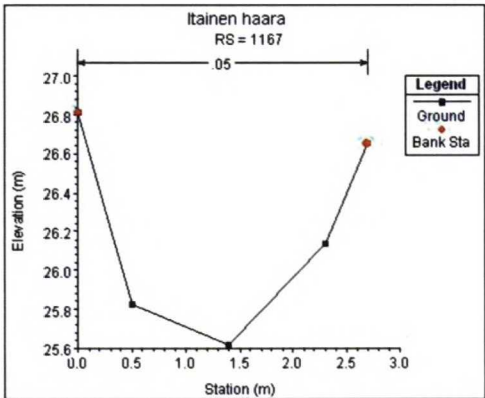
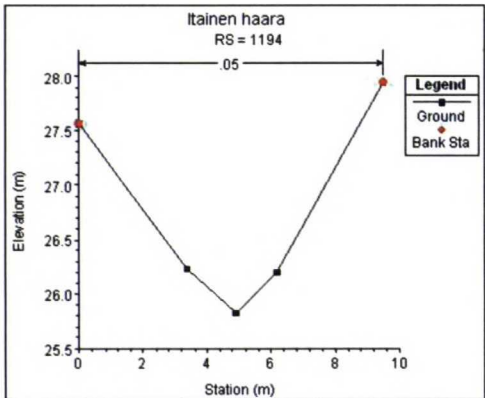
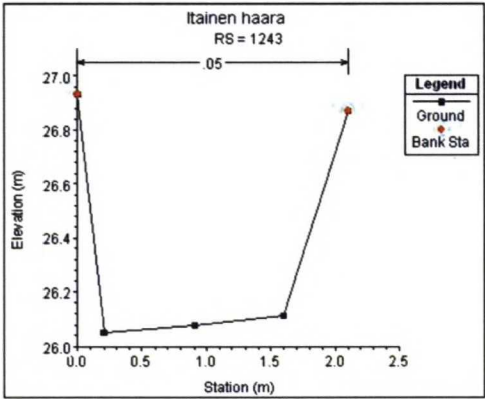
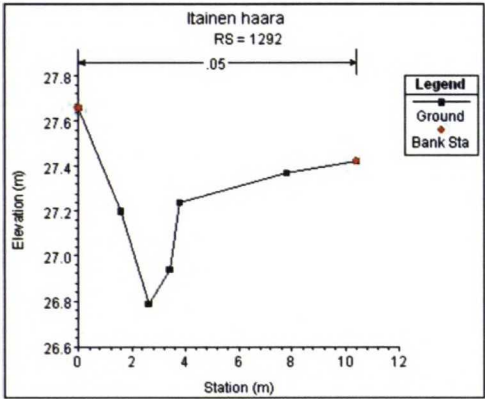
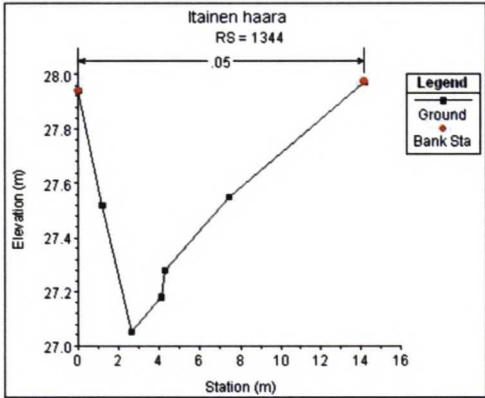
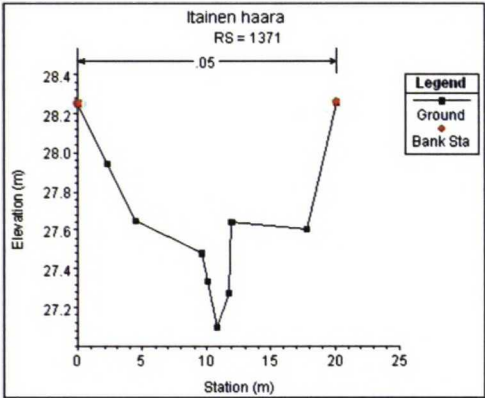
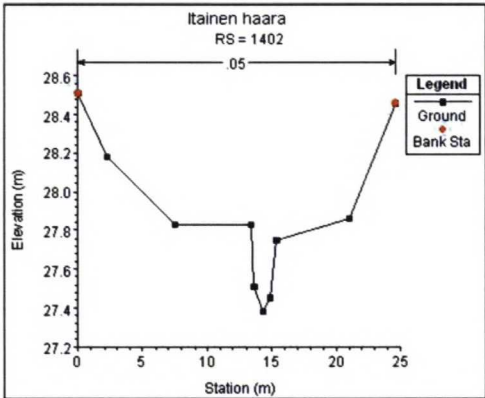
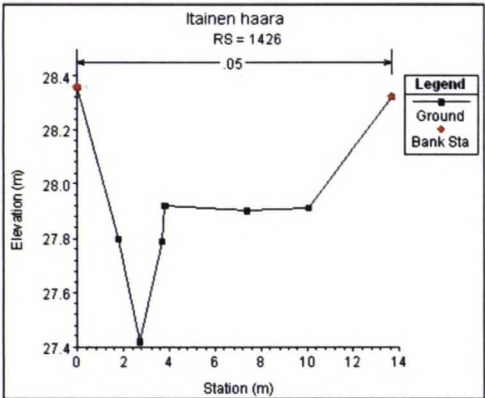
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (4/19)



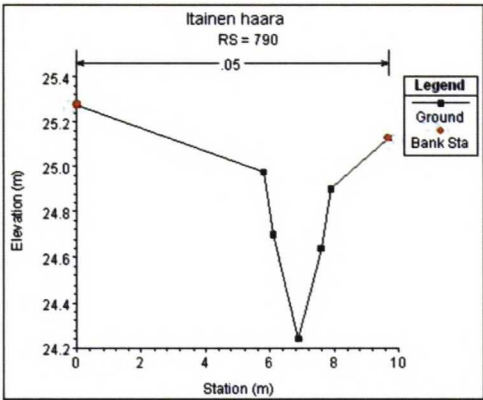
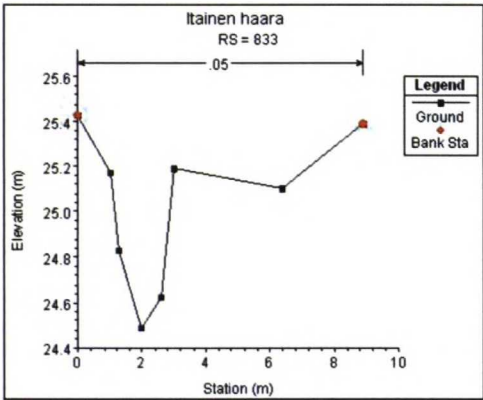
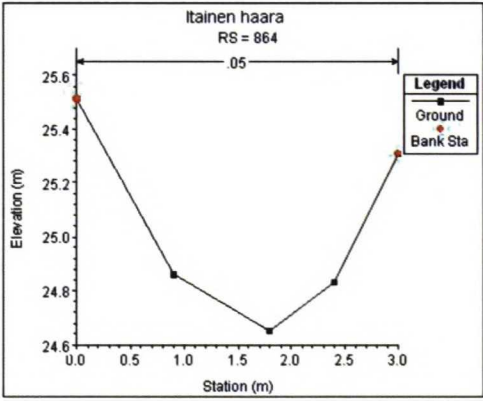
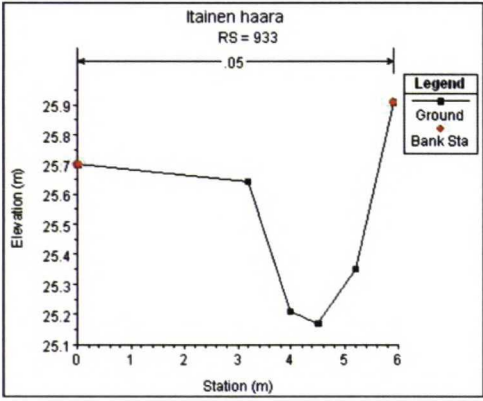
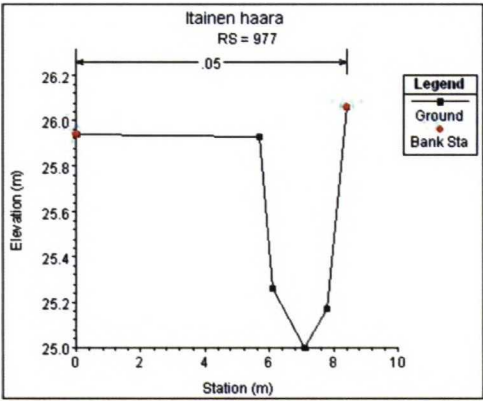
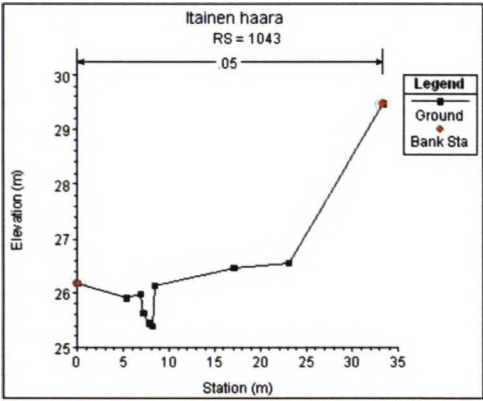
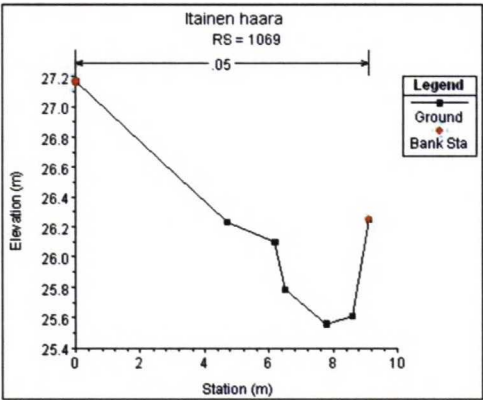
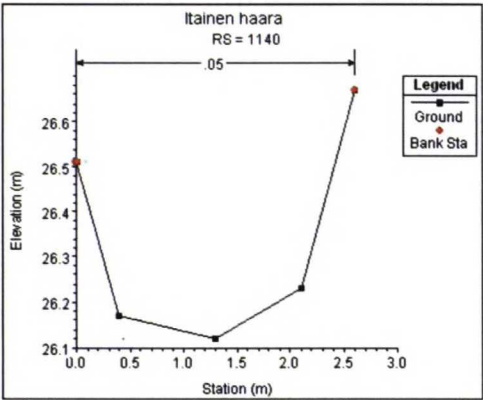
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (5/19)



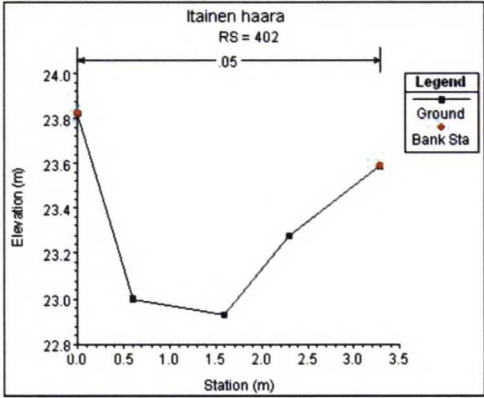
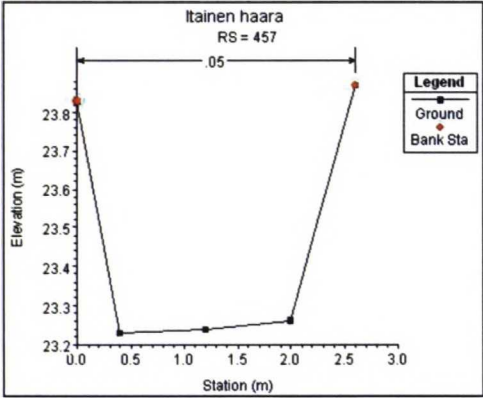
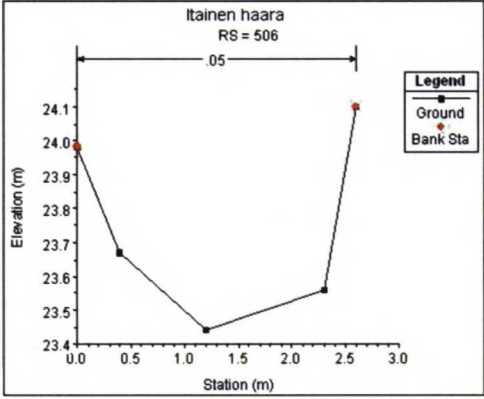
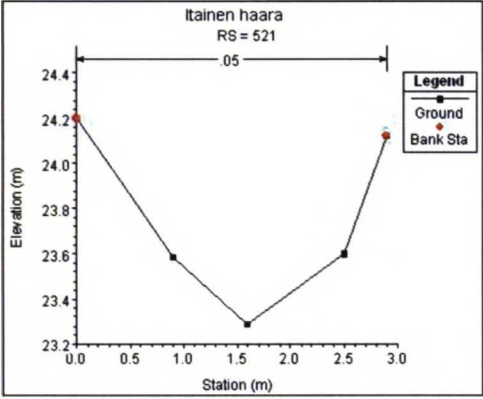
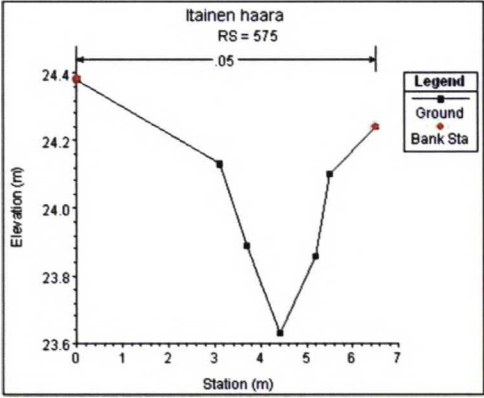
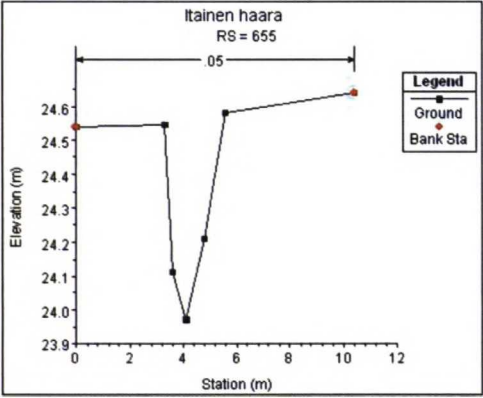
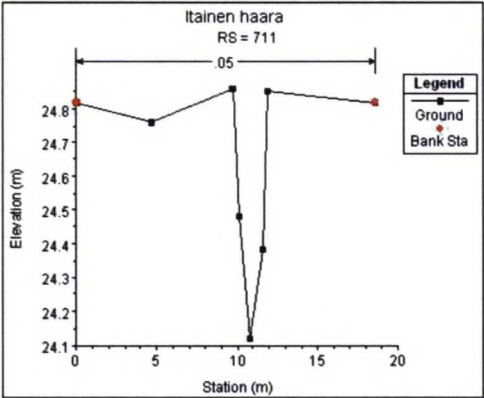
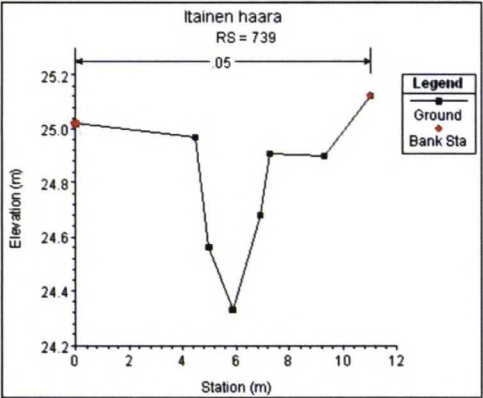
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (6/19)



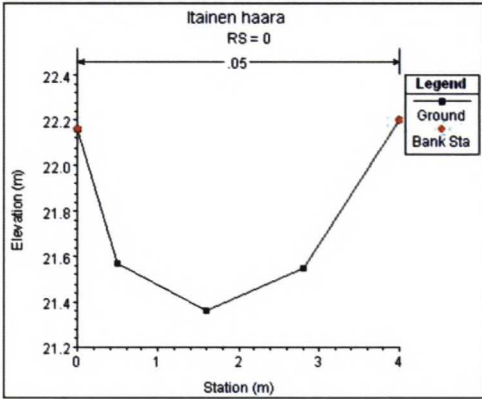
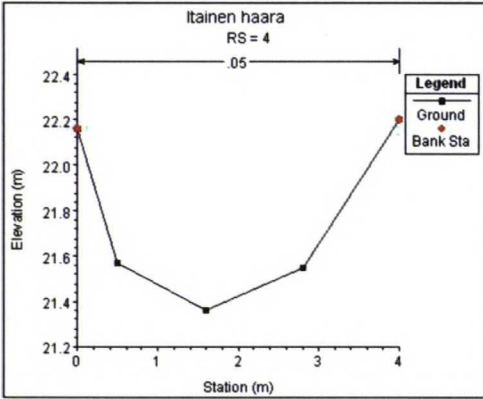
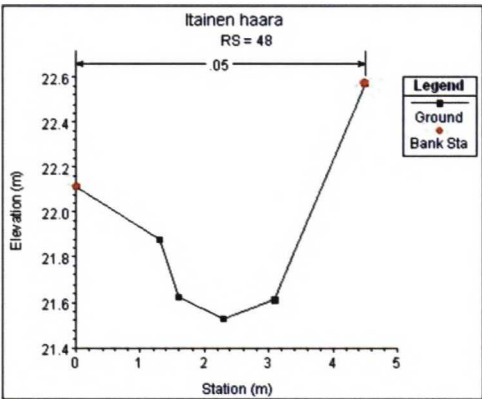
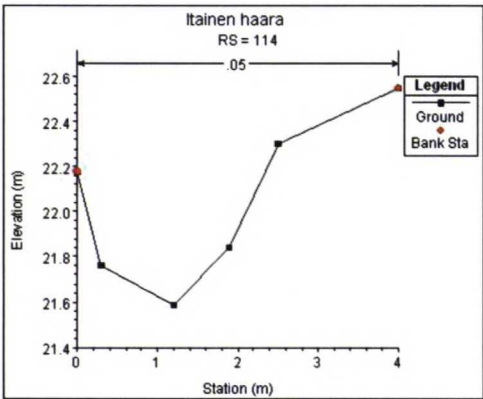
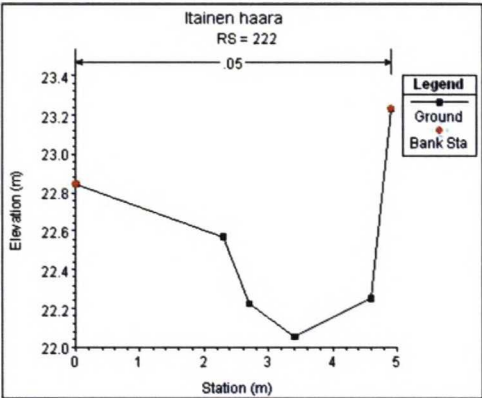
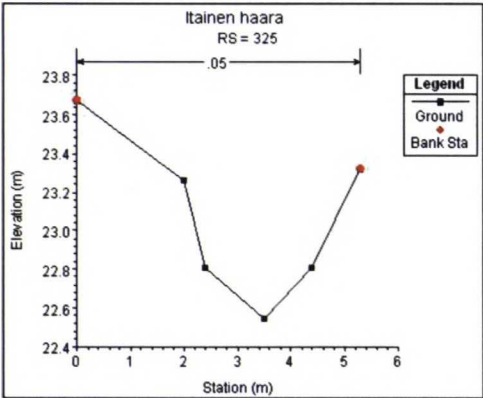
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (7/19)



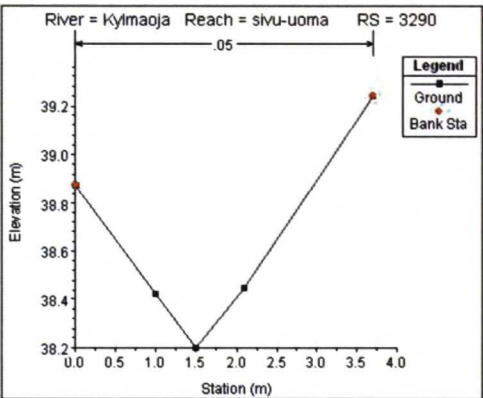
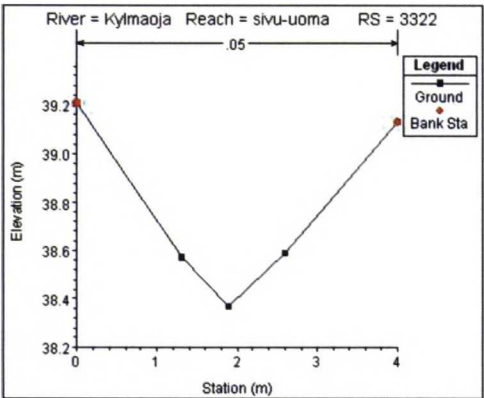
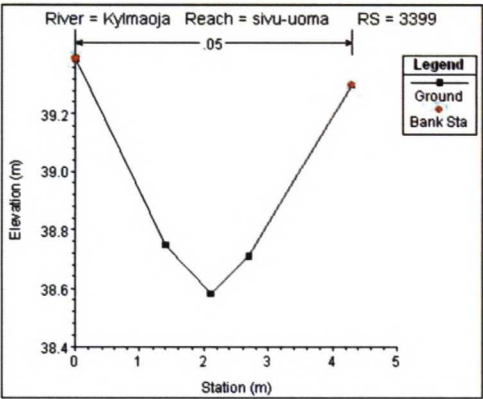
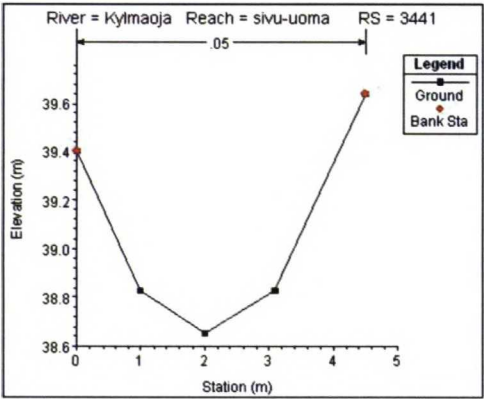
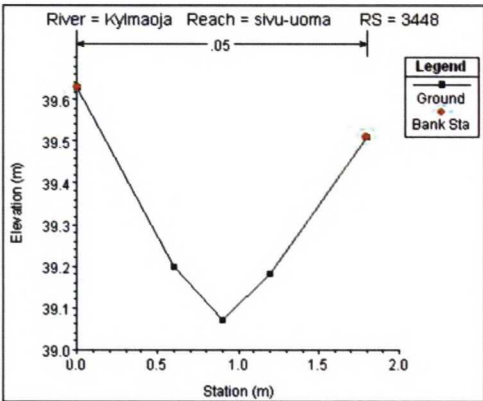
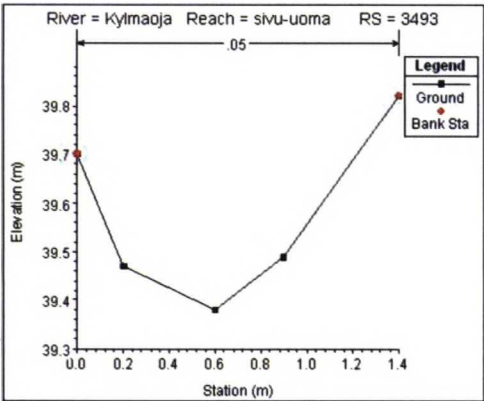
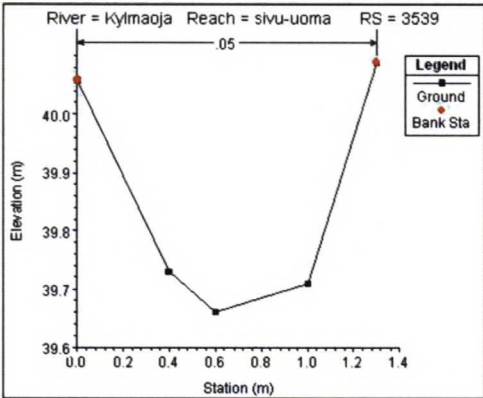
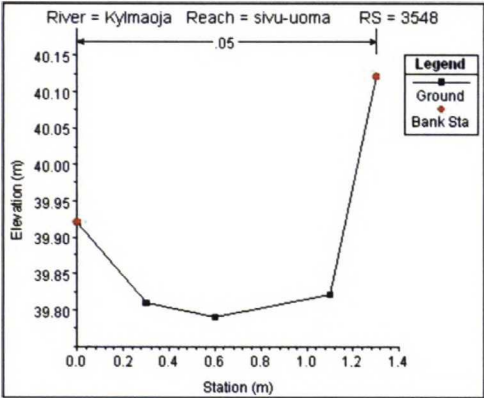
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (8/19)



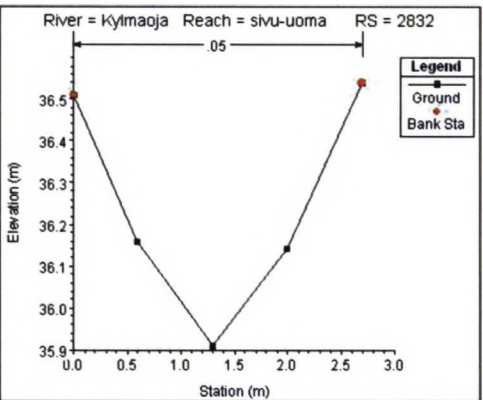
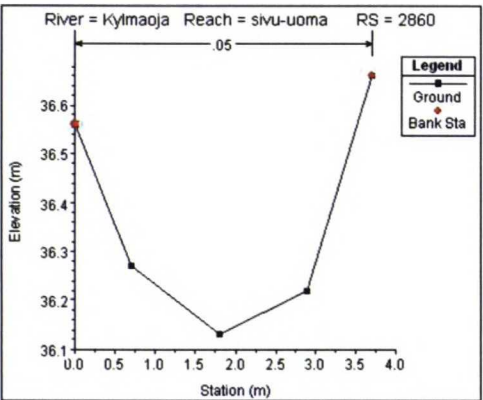
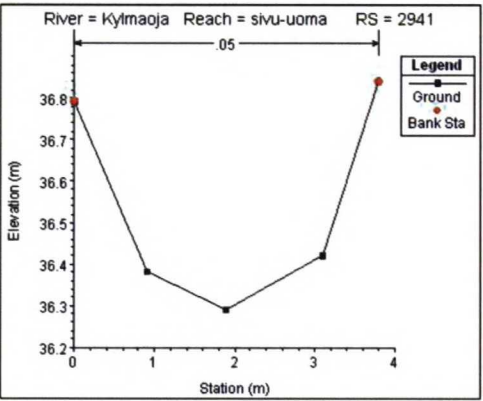
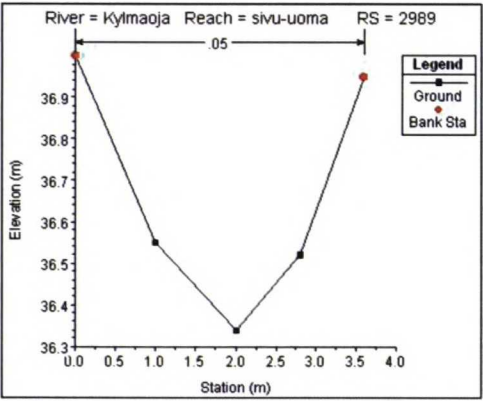
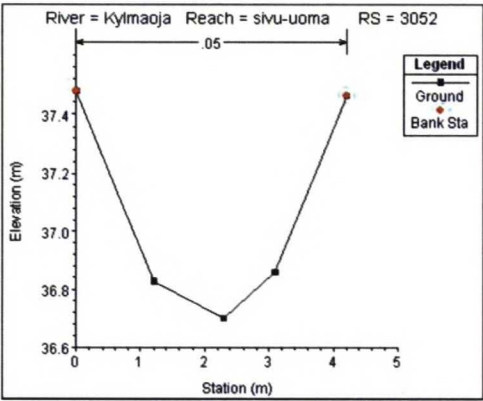
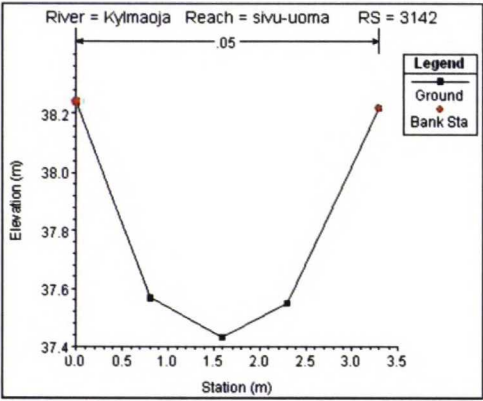
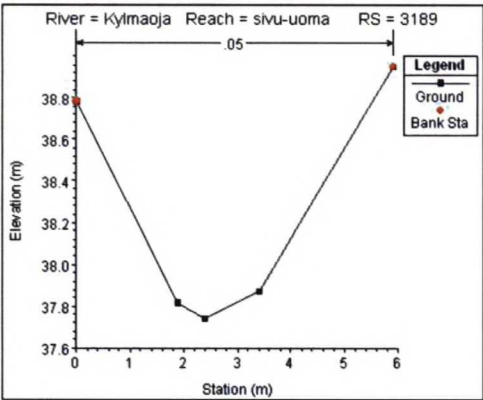
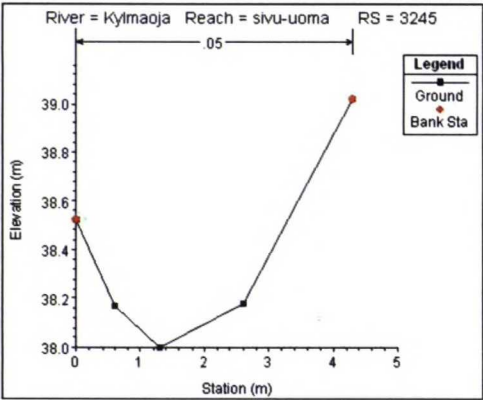
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (9/19)



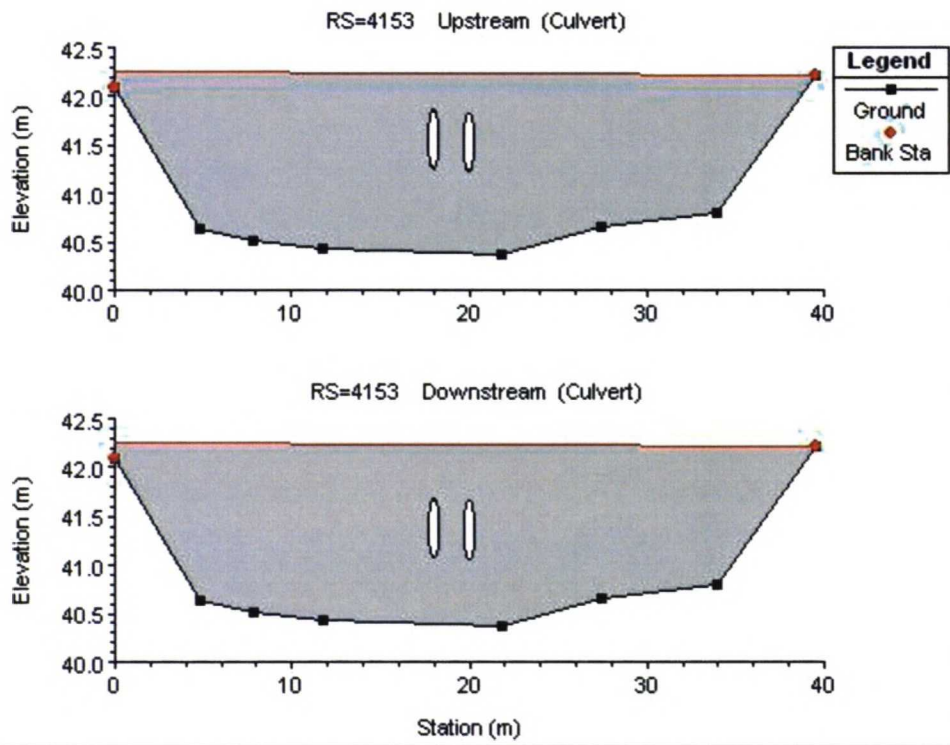
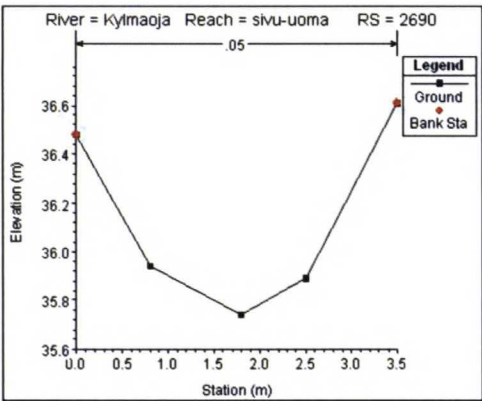
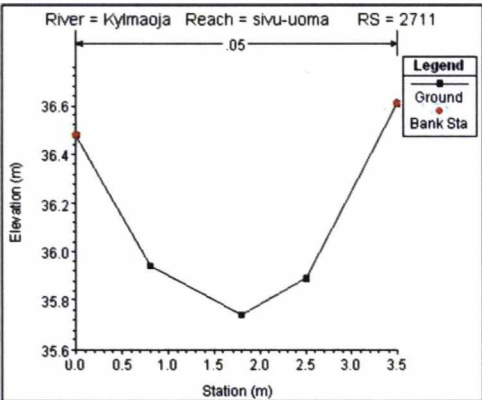
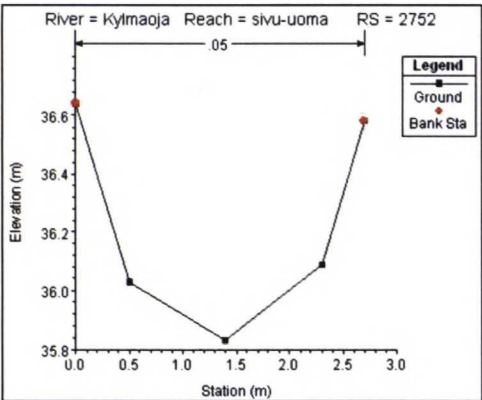
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (10/19)



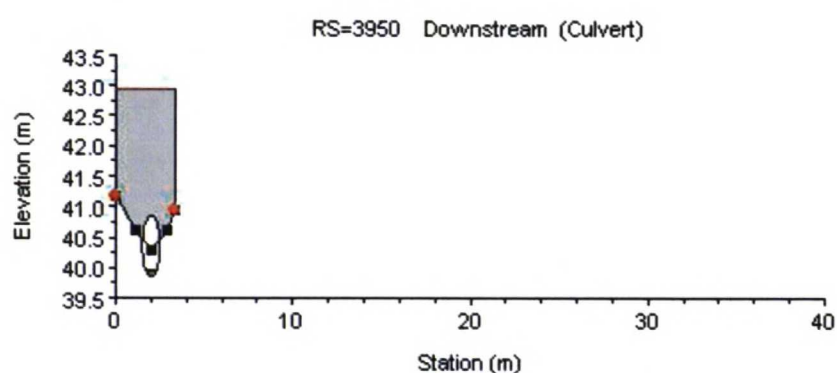
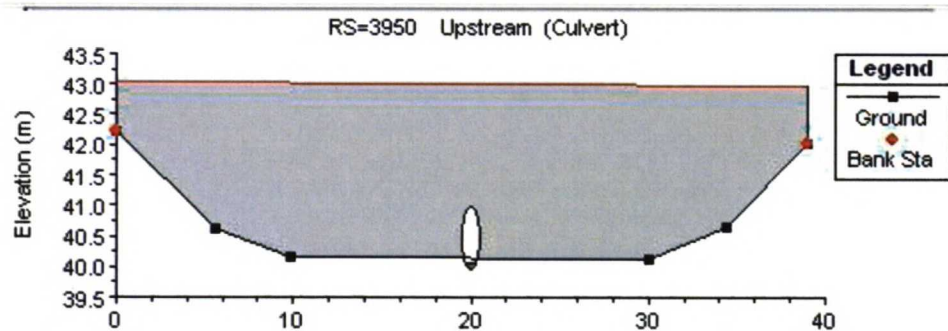
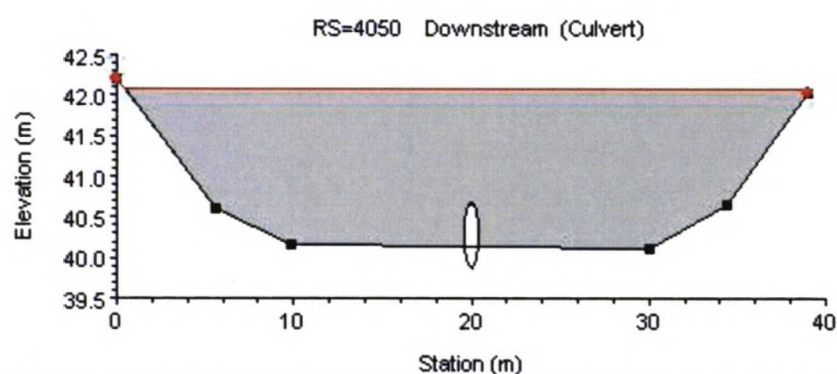
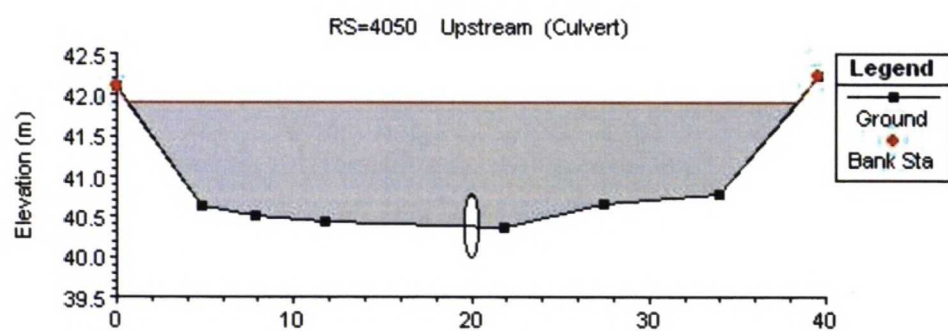
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (11/19)



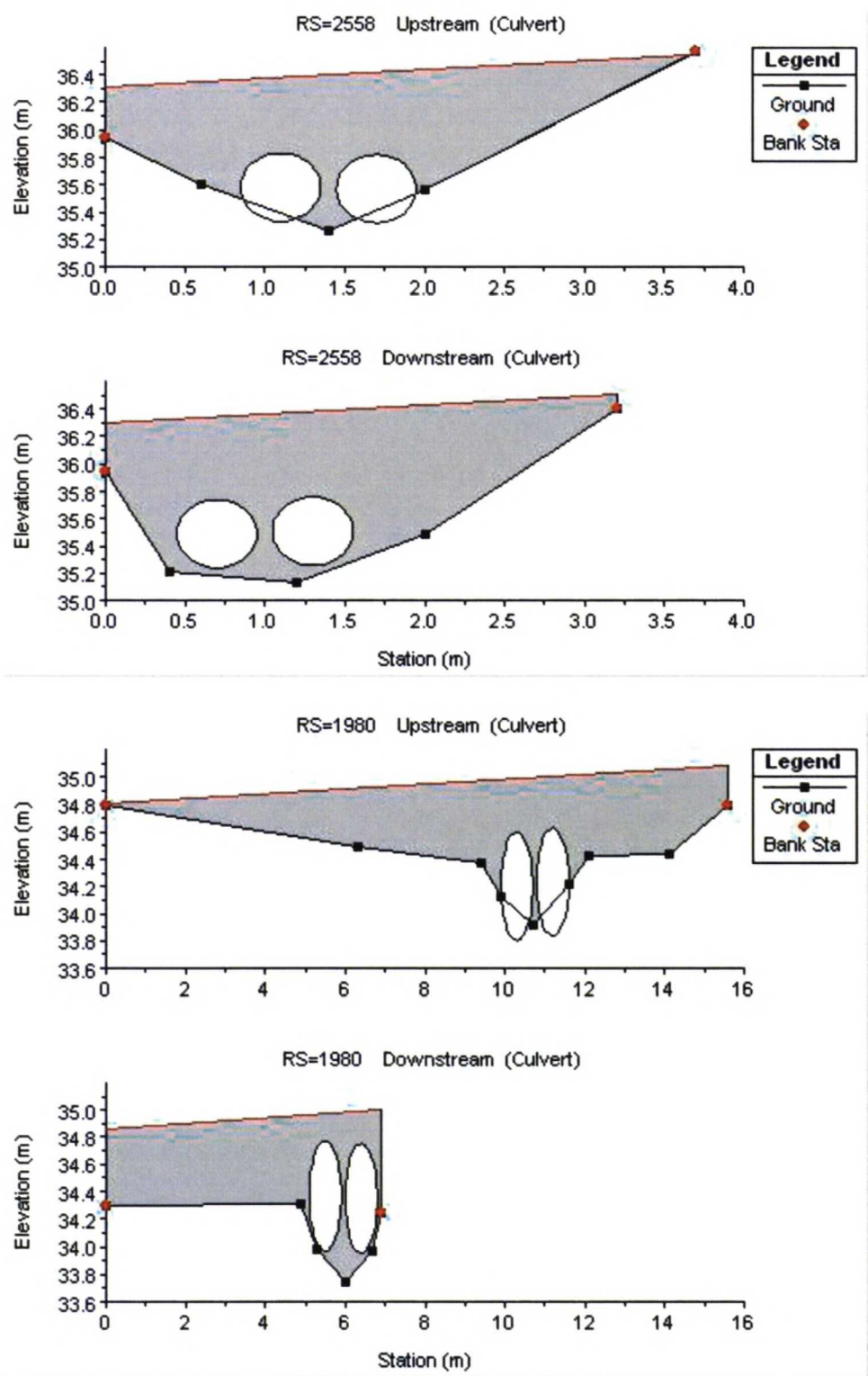
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (12/19)



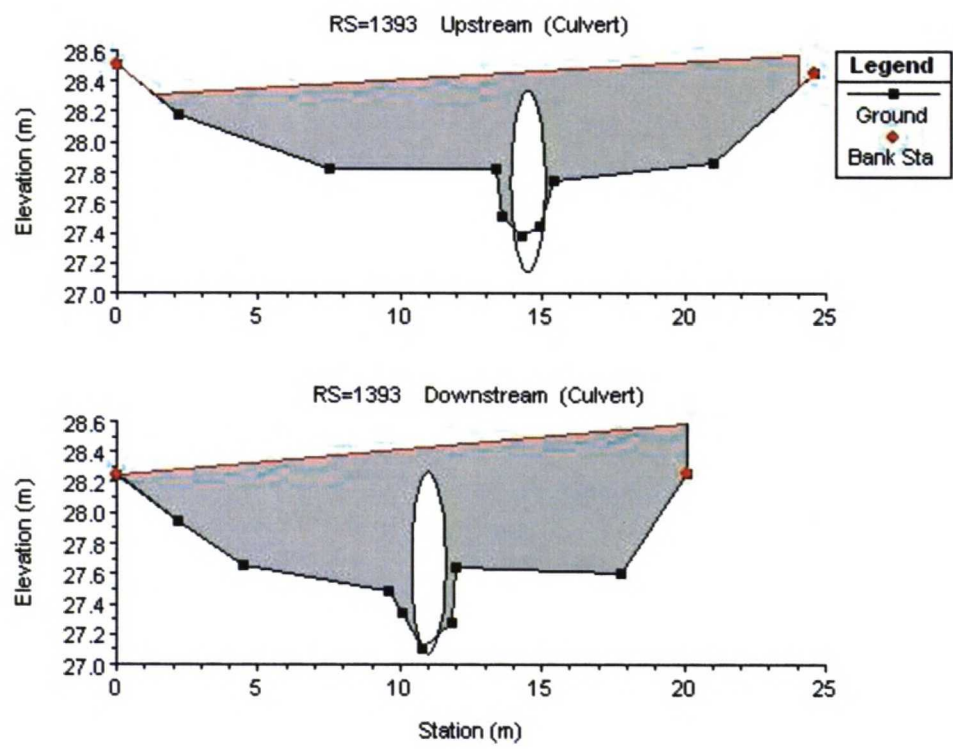
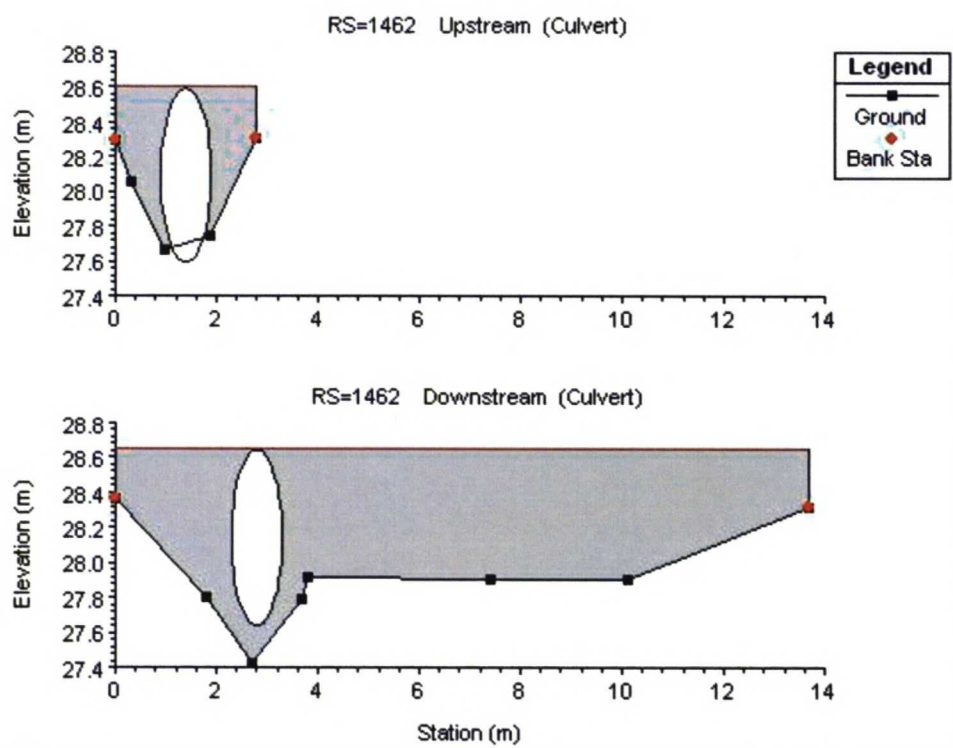
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (13/19)



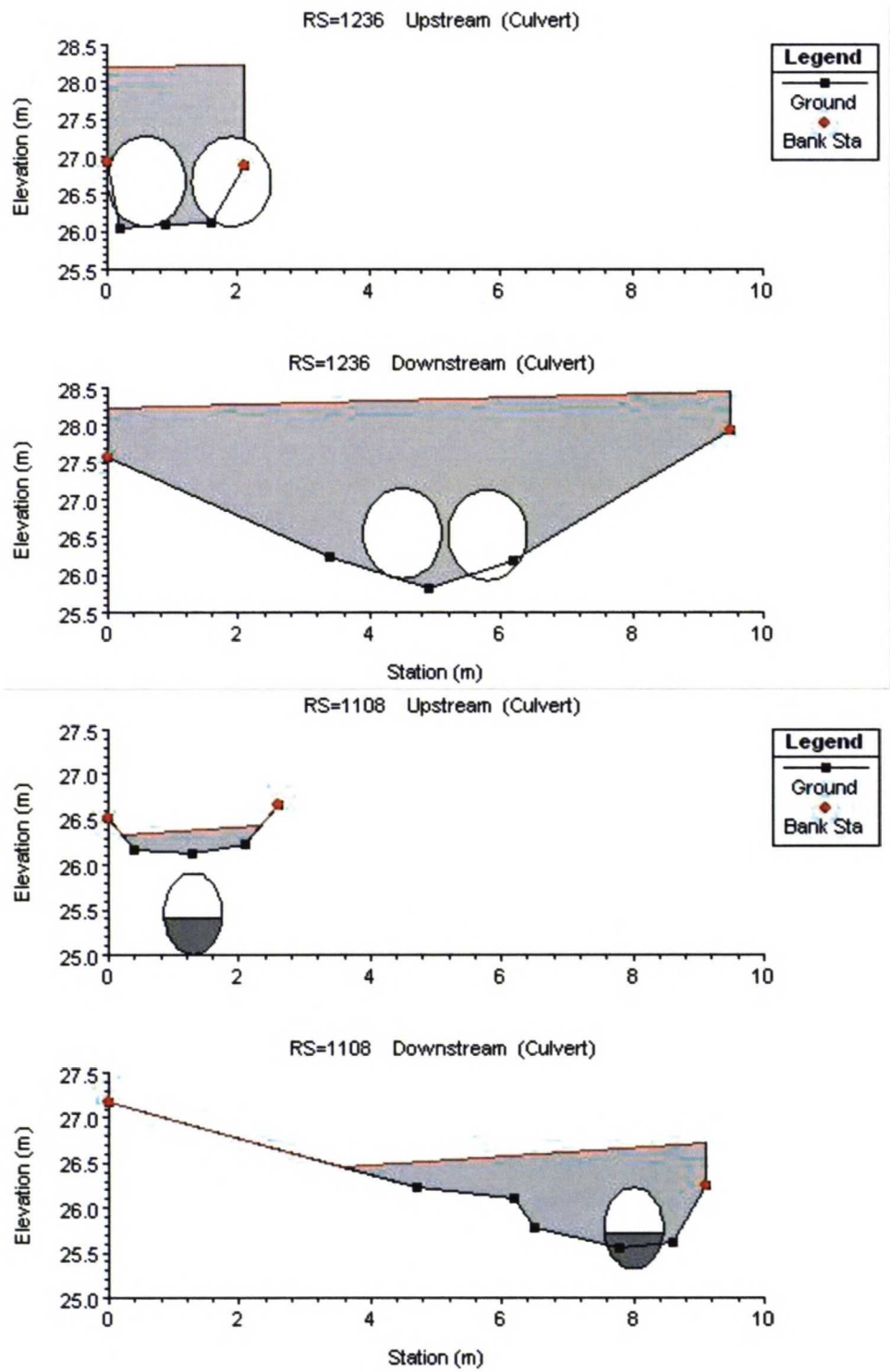
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (14/19)



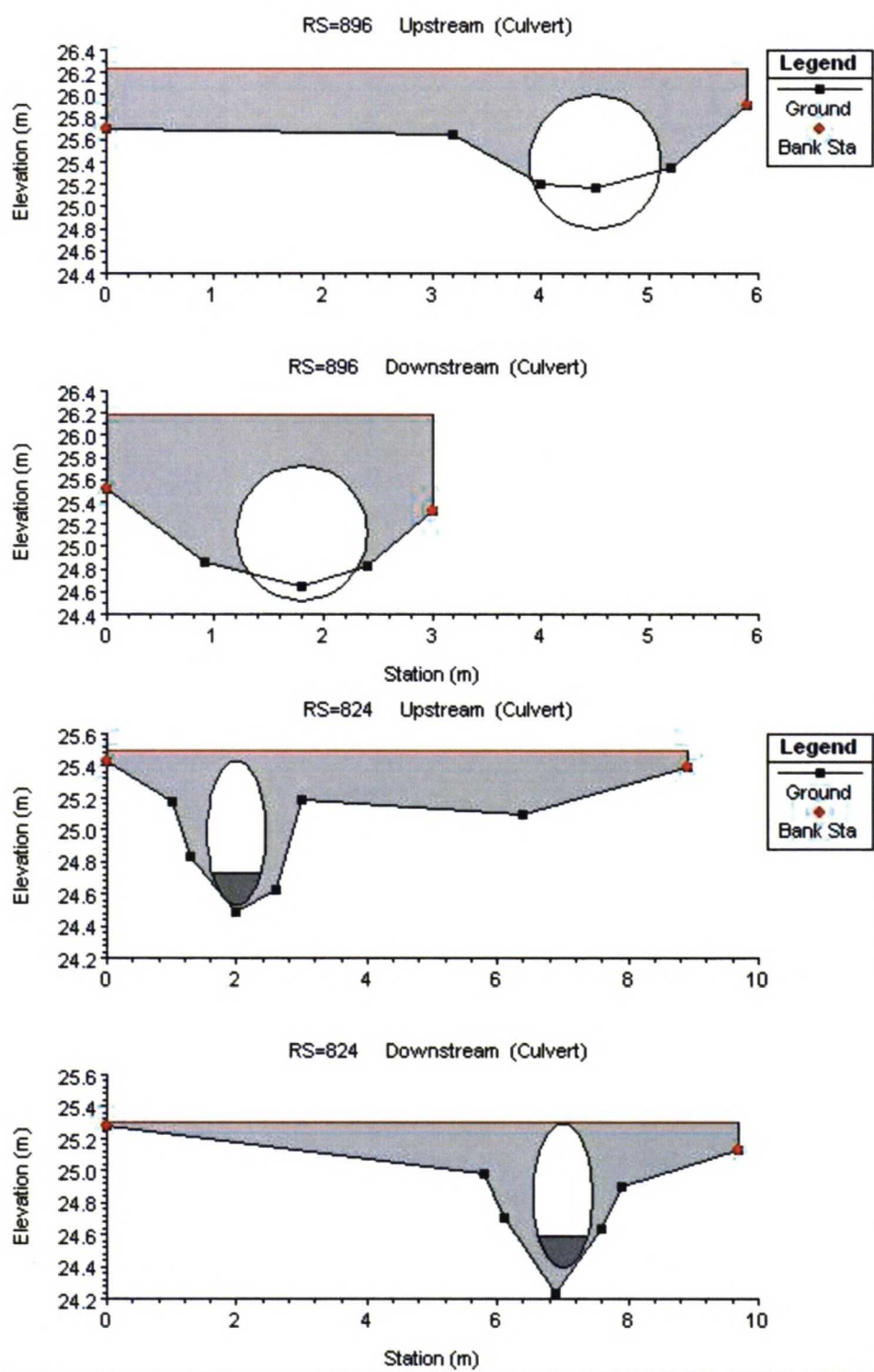
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (15/19)



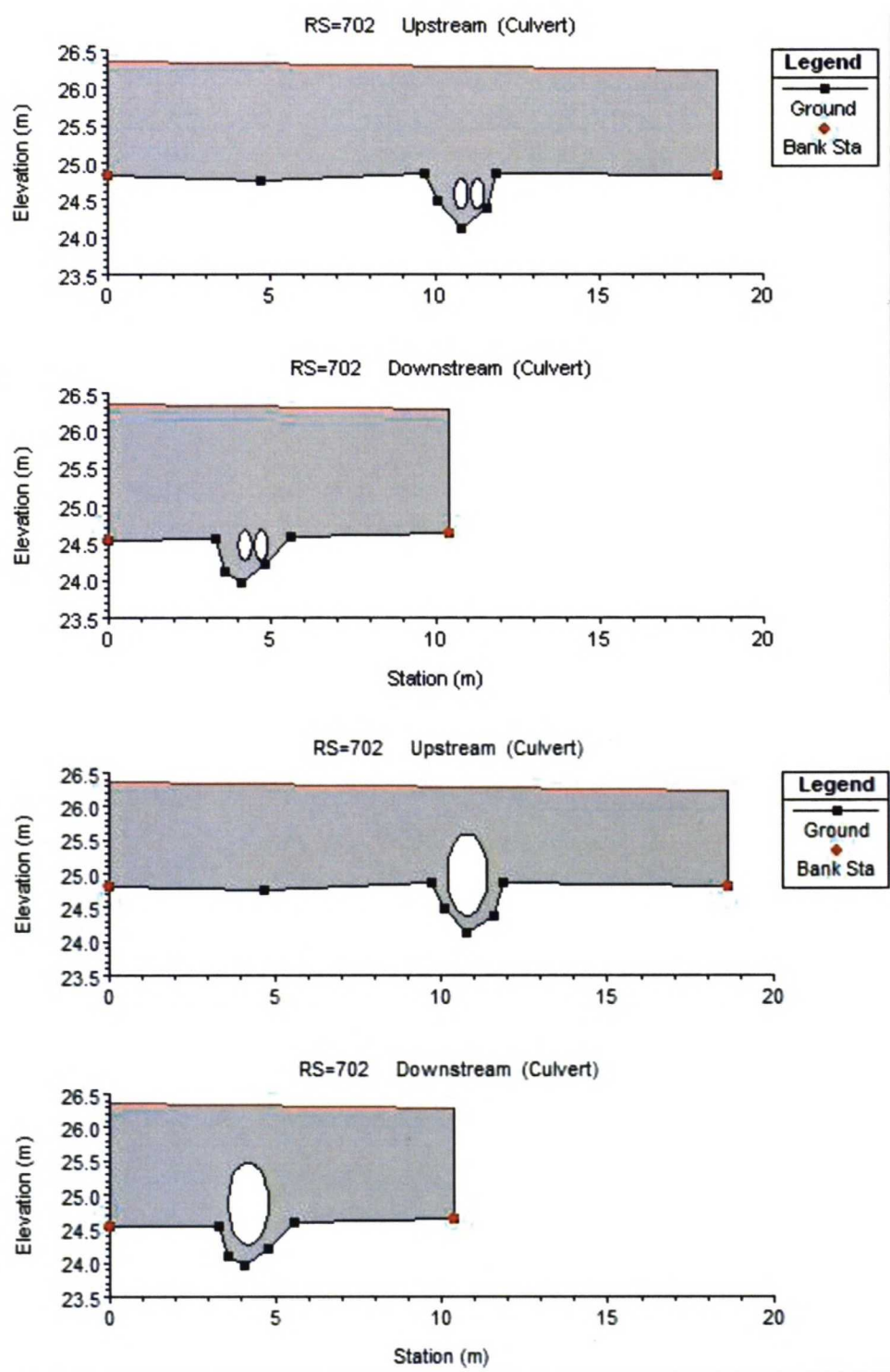
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (16/19)



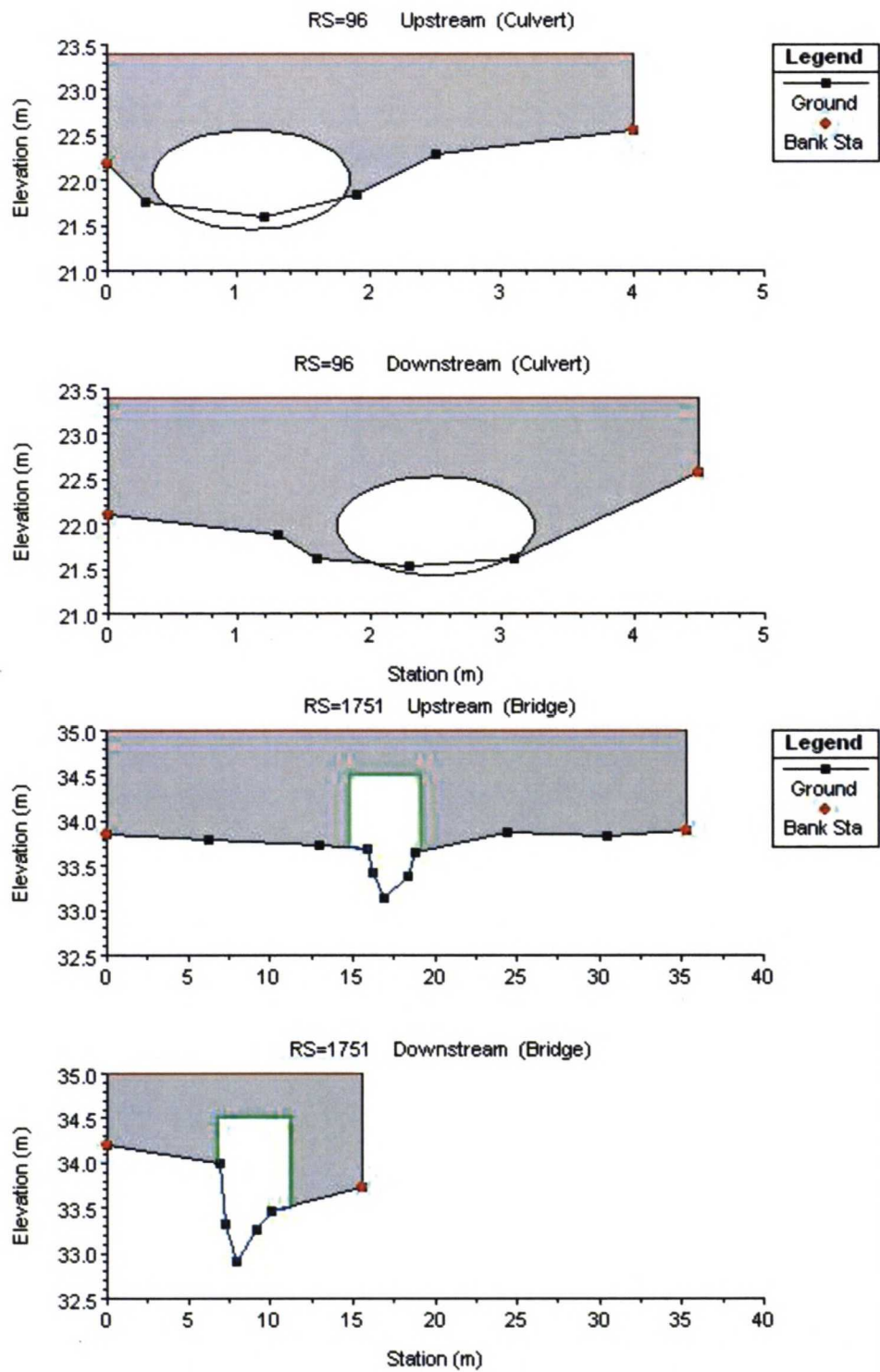
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (17/19)



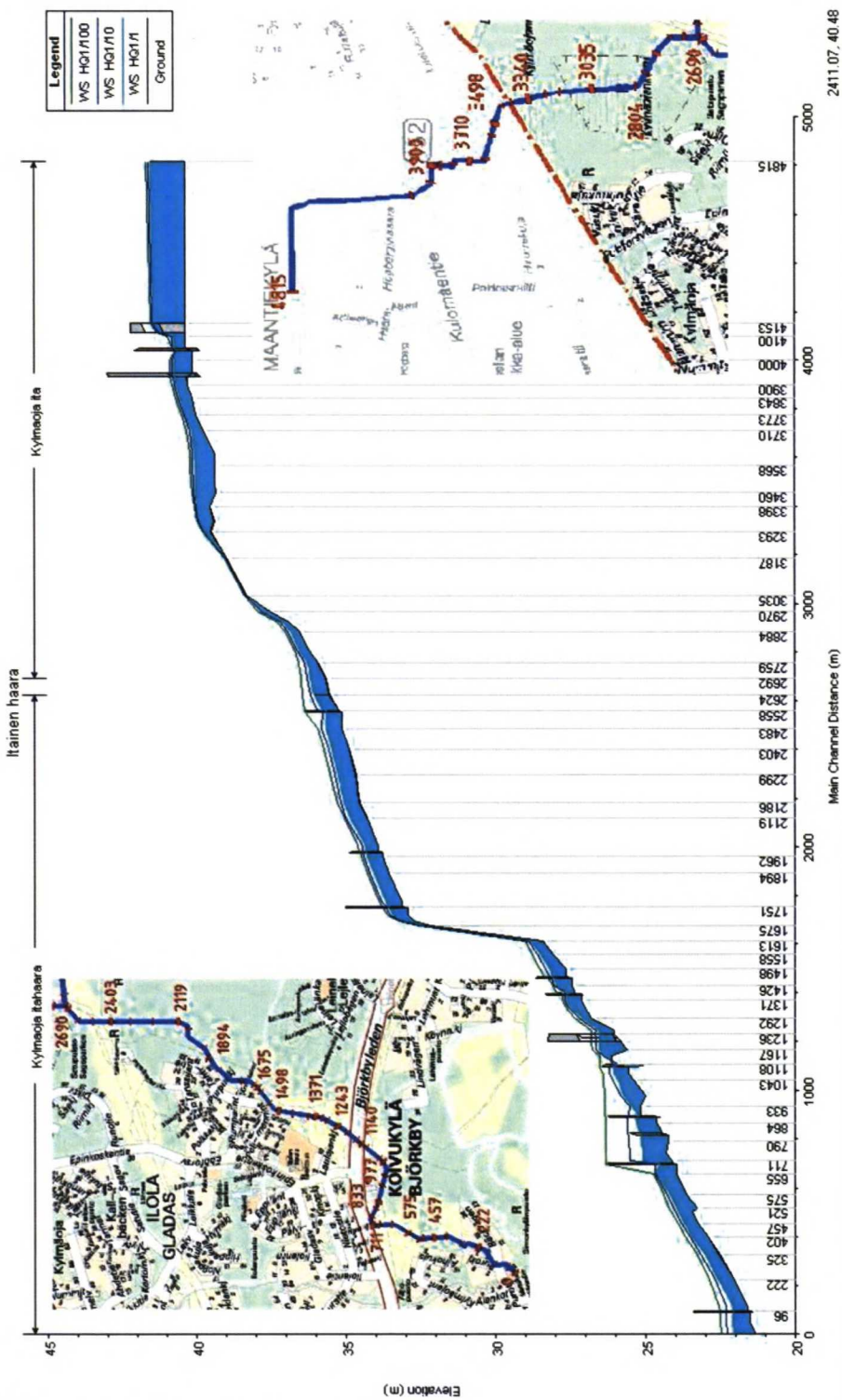
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (18/19)



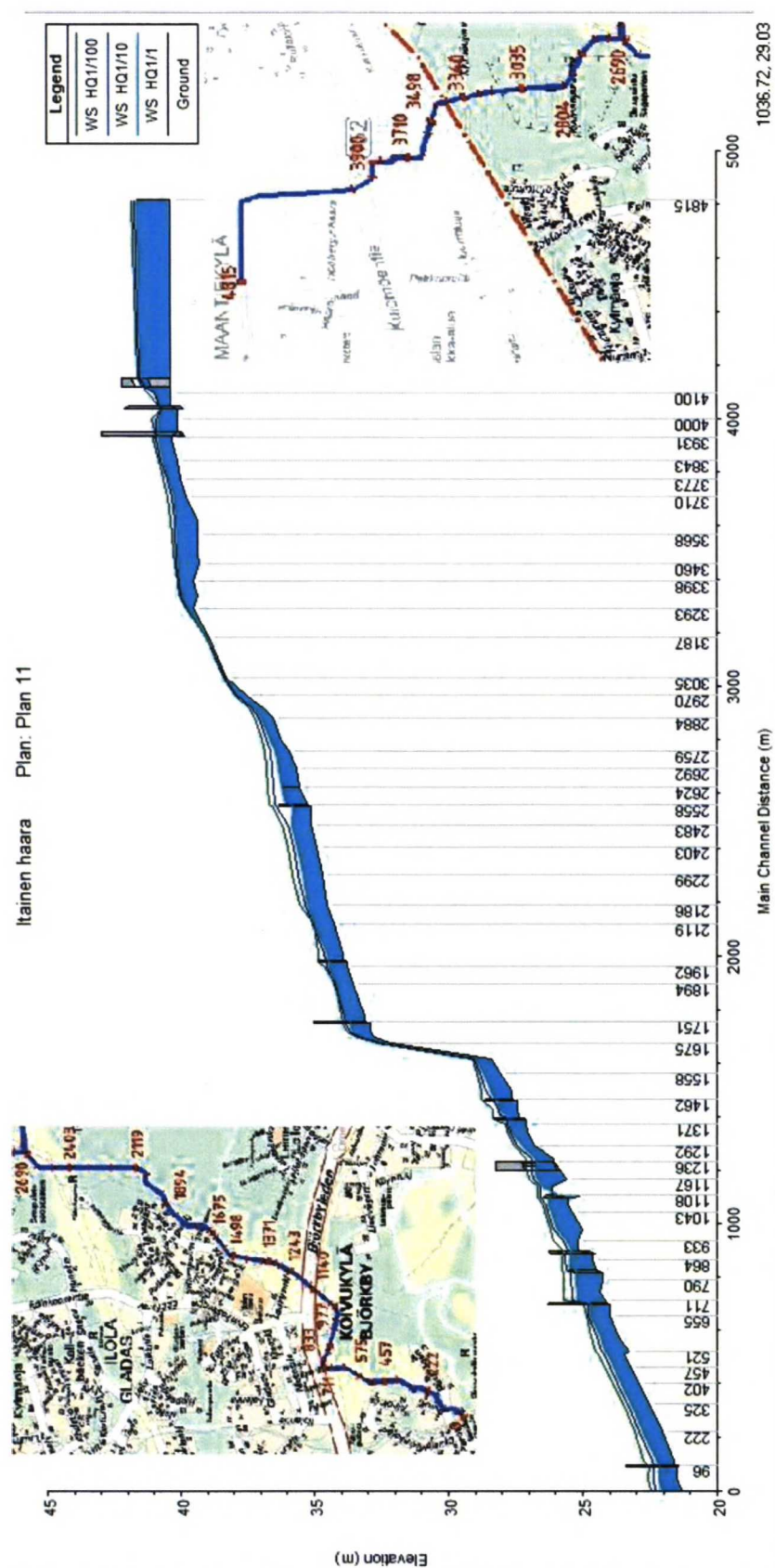
Liite 1 Uoman poikkileikkaukset, rummut ja silta (19/19)



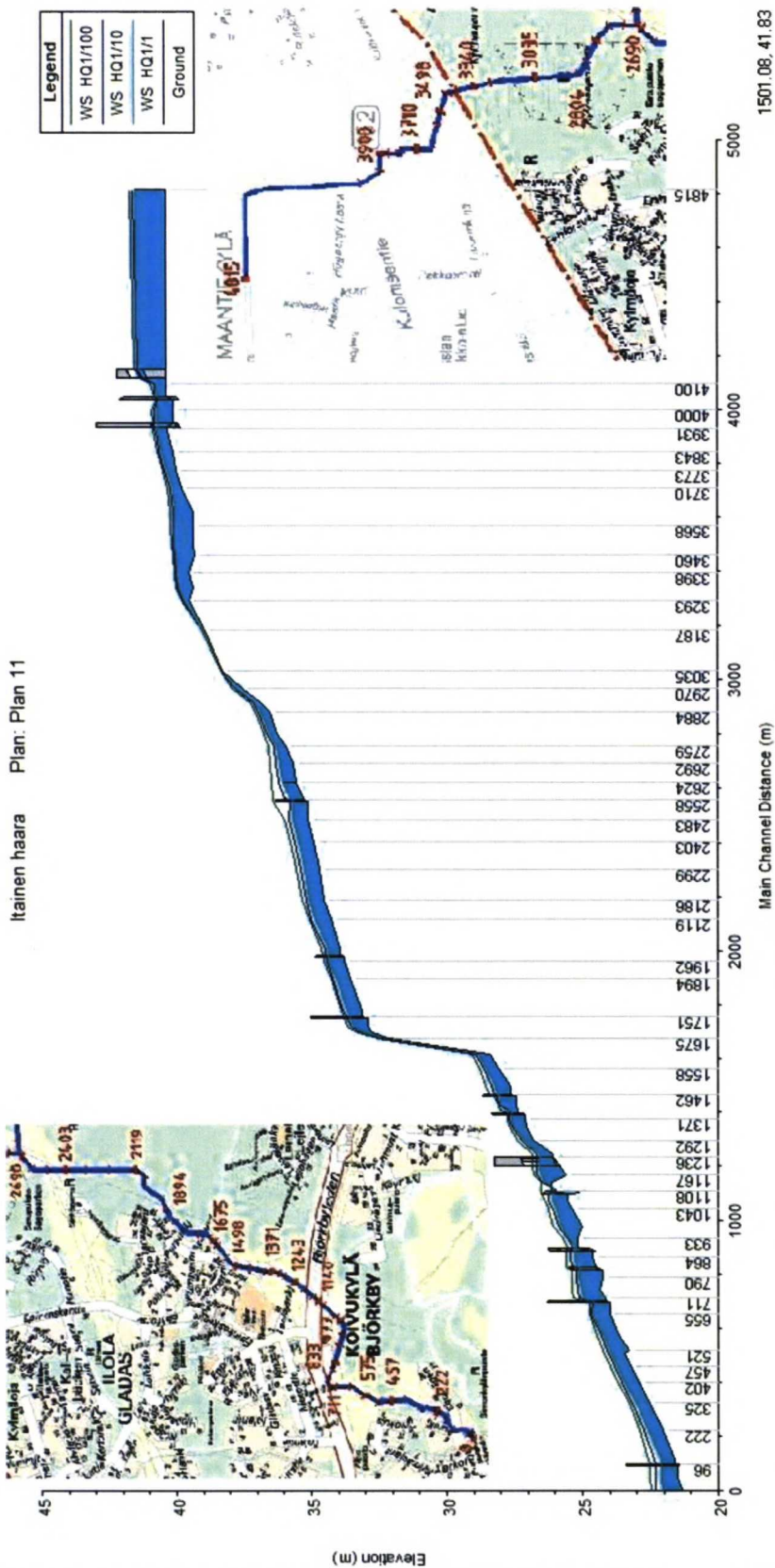
Liite 2 Pituusleikkaukset (1/9)



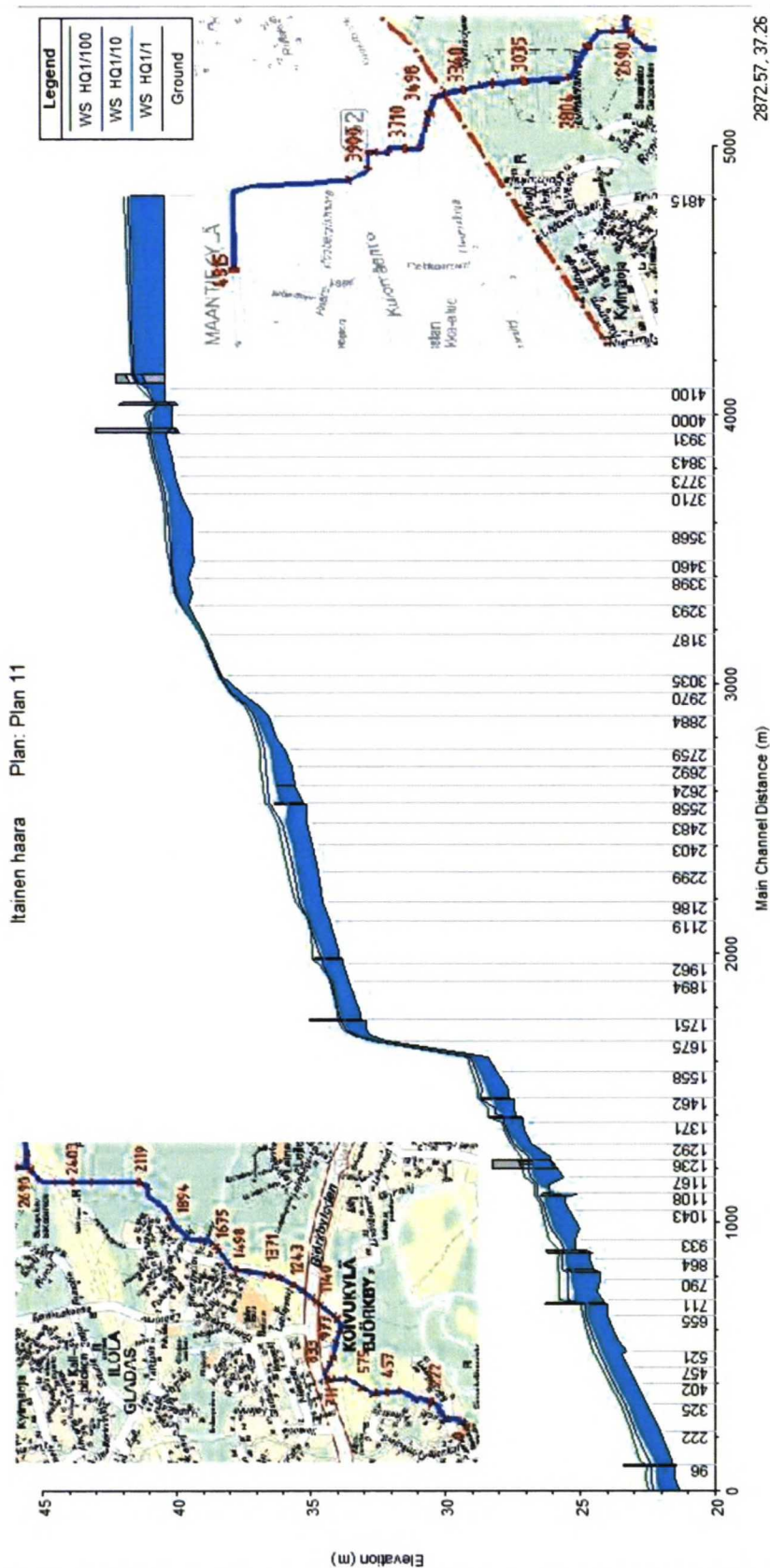
Kuva a. Kylmäojan itähaara nykytilanteessa.



Kuva b. Kylmäojan itähaara vuonna 2030, kun pelkän kaupungistumisen vaikutus on otettu huomioon.

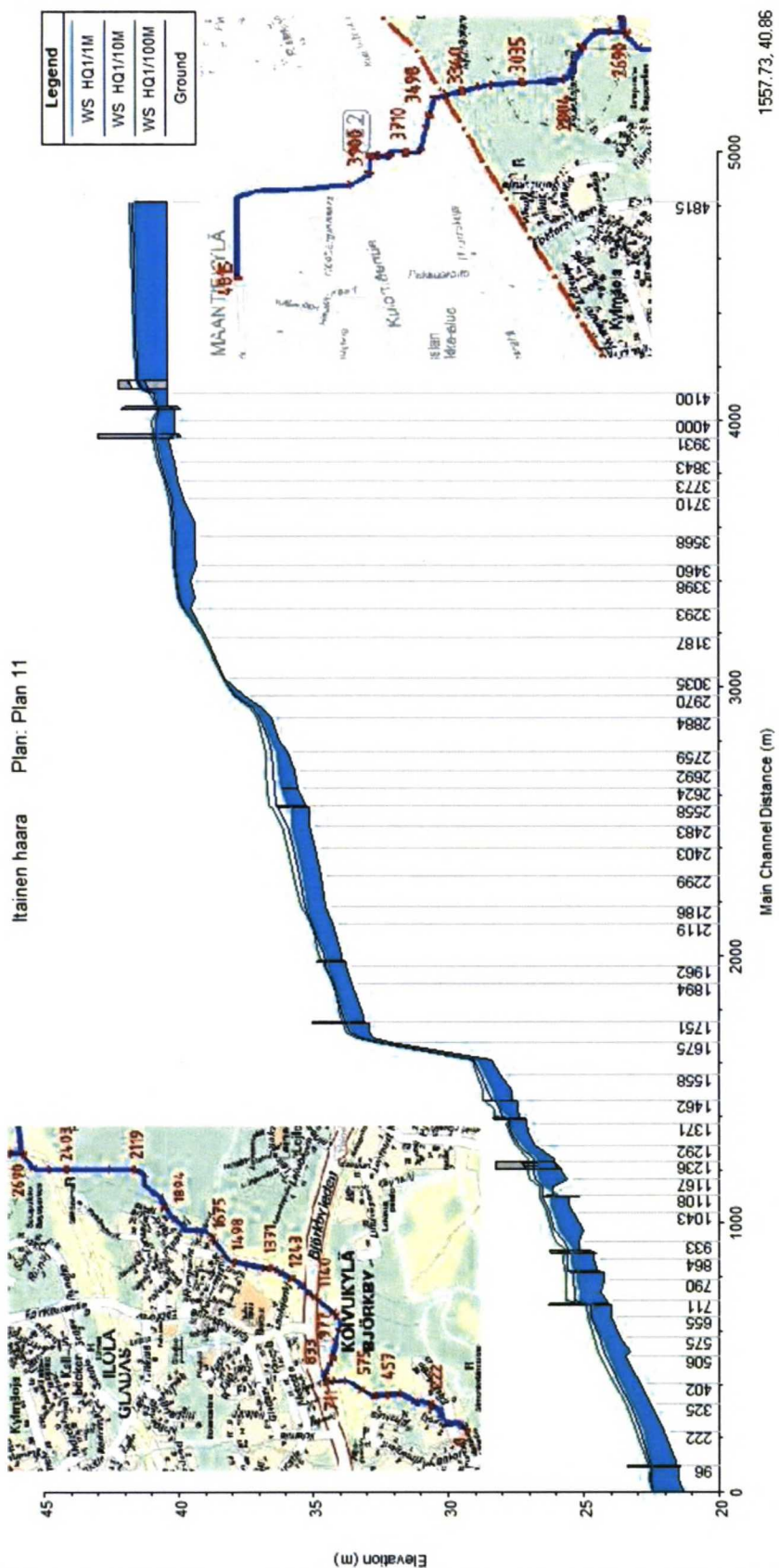


Kuva c. Kylmäajan itähaara vuonna 2030, kun pelkän ilmastonmuutoksen vaikutus virtaamaan on otettu huomioon.



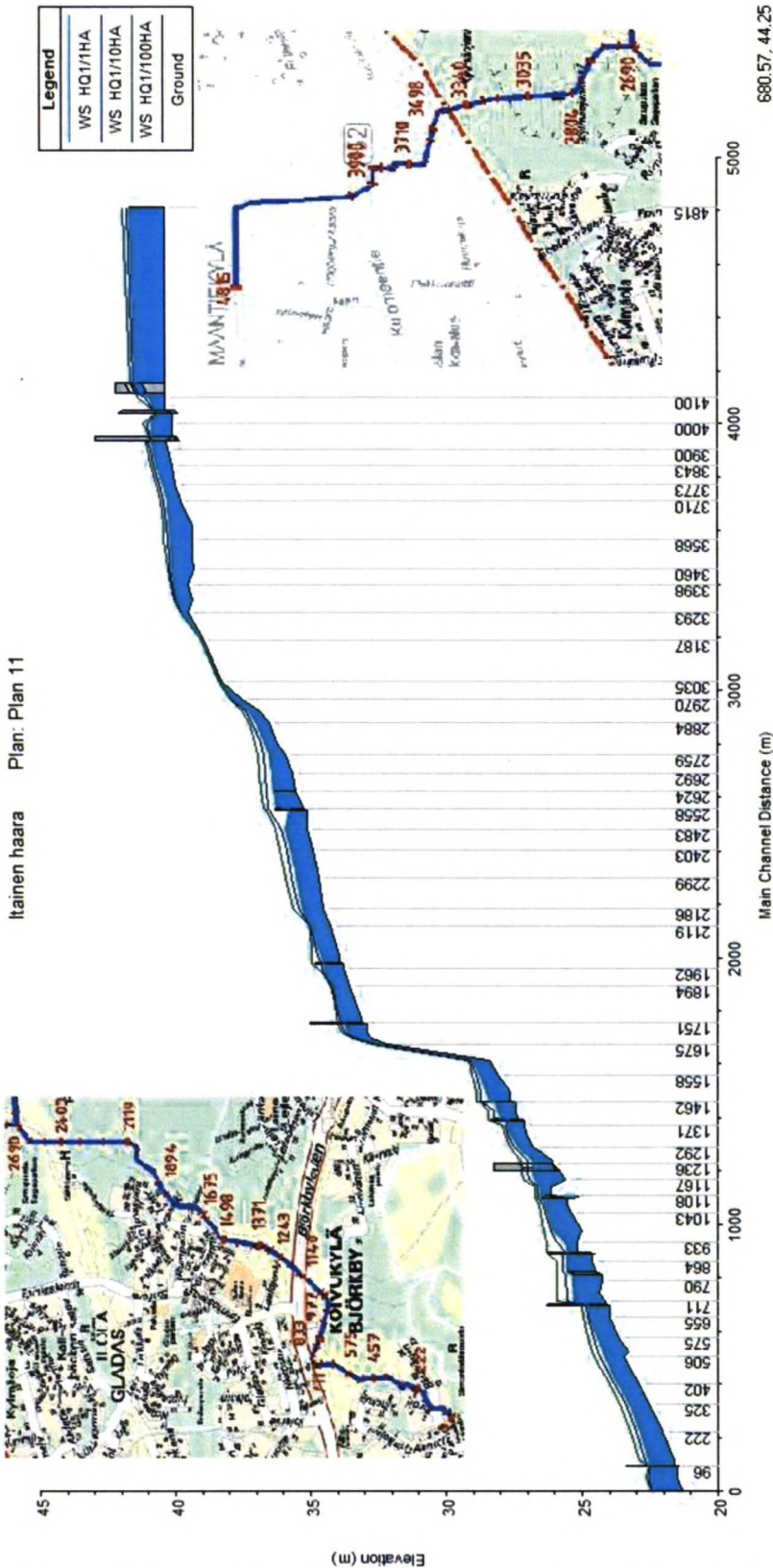
Kuva d. Kylmäojan itähaara vuonna 2030, kun sekä kaupungistumisen että ilmastonmuutoksen vaikutukset virtaamaan on otettu huomioon.

Liite 2 Pituusleikkaukset (5/9)



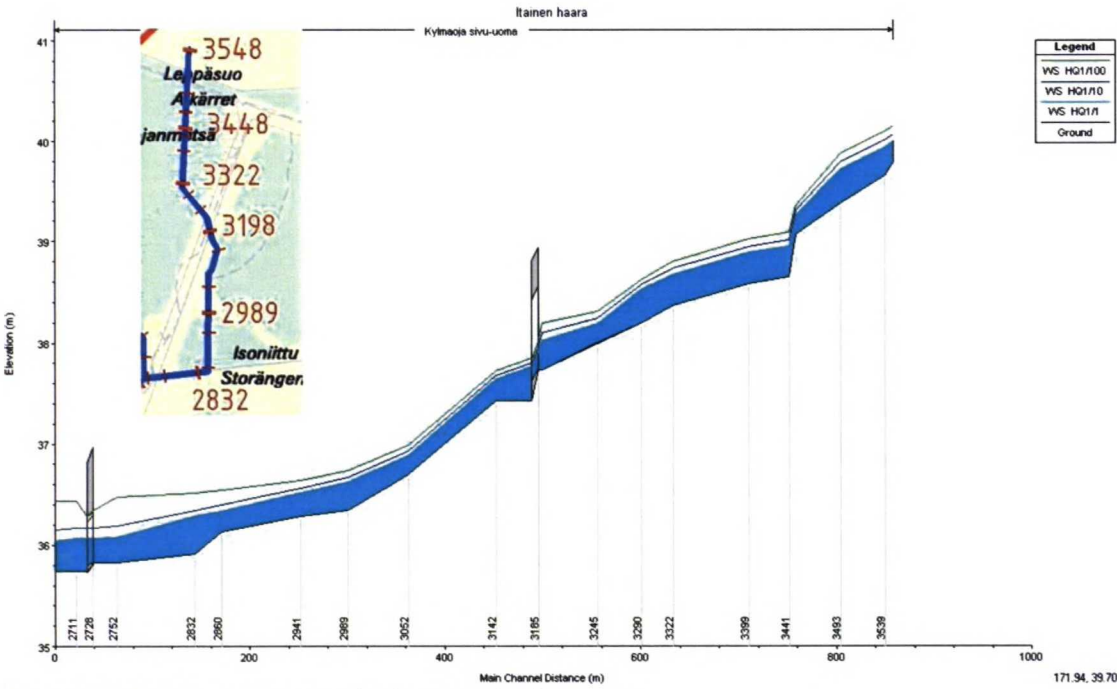
Kuva e. Kälviälampi itähaara vuonna 2030, kun kaupungistumisen, ilmastomuutoksen sekä tasausaltaiden vedenpidätyksen vaikutukset virtaamaan on otettu huomioon.

Liite 2 Pituusleikkaukset (6/9)

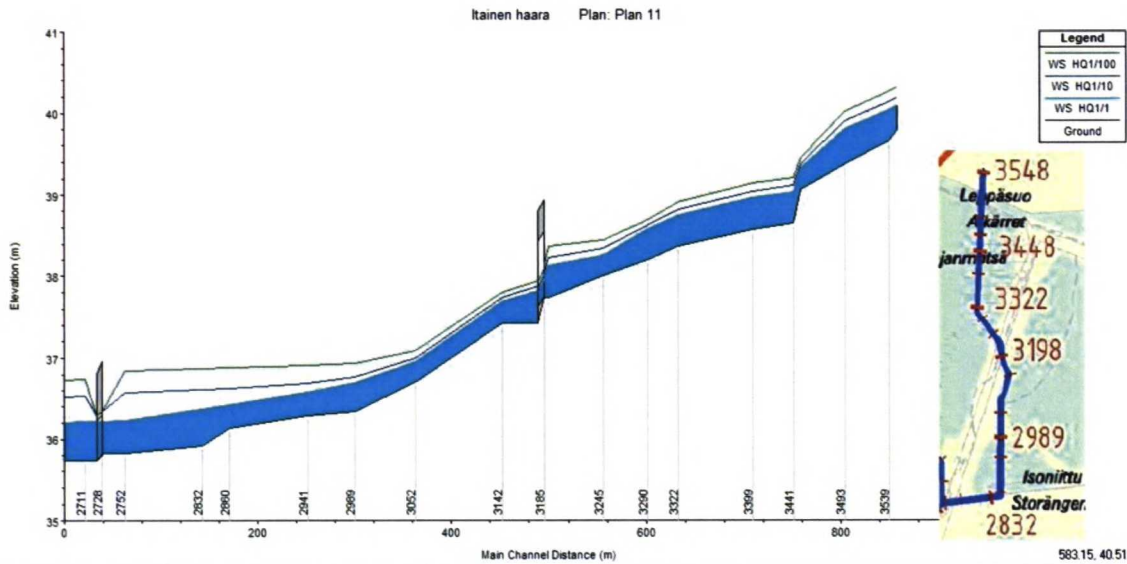


Kuva f. Kylmäojan itäisen haaran pituusleikkaus vuonna 2030, kun kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen yhteisvaikutus virtaamaan on otettu huomioon ja lisäksi virtaamaa on kasvatettu 20 %.

Liite 2 Pituusleikkaukset (7/9)

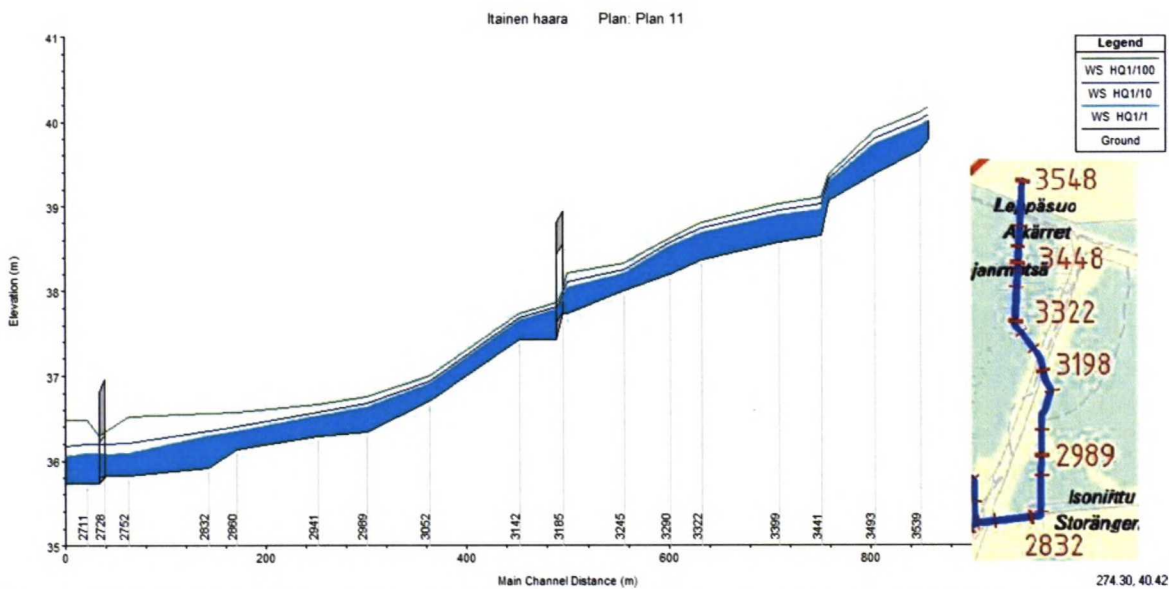


Kuva g. Kylmäojan itähaaran sivuhaara nykytilanteessa.

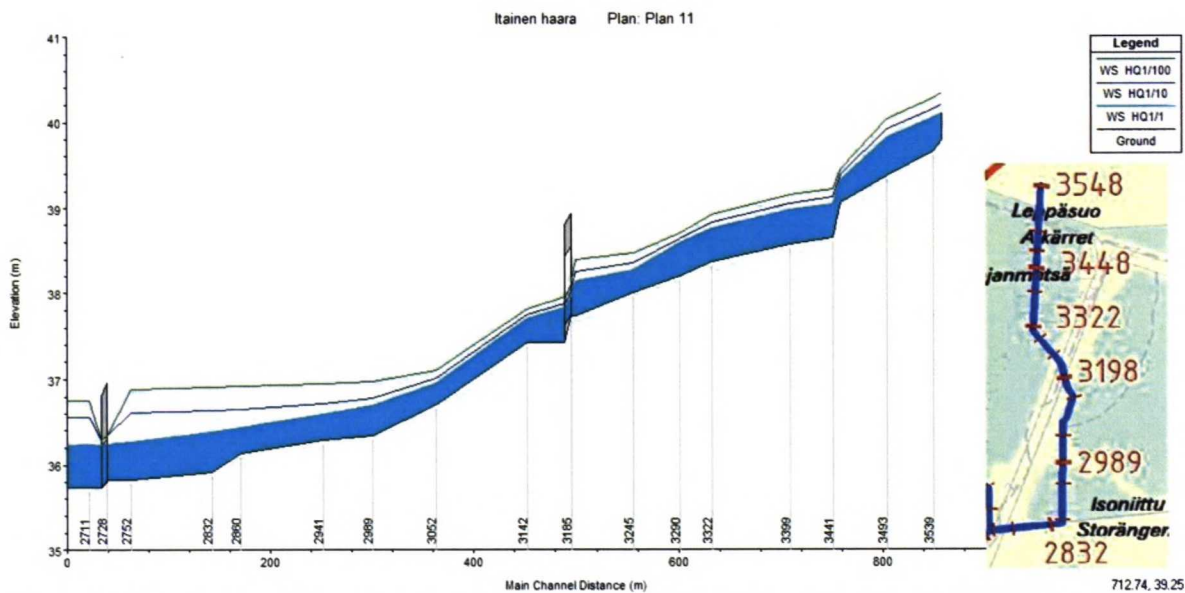


Kuva h. Kylmäojan itähaaran sivuhaara vuonna 2030, kun pelkän kaupungistumisen vaikutus virtaamaan on otettu huomioon.

Liite 2 Pituusleikkaukset (8/9)

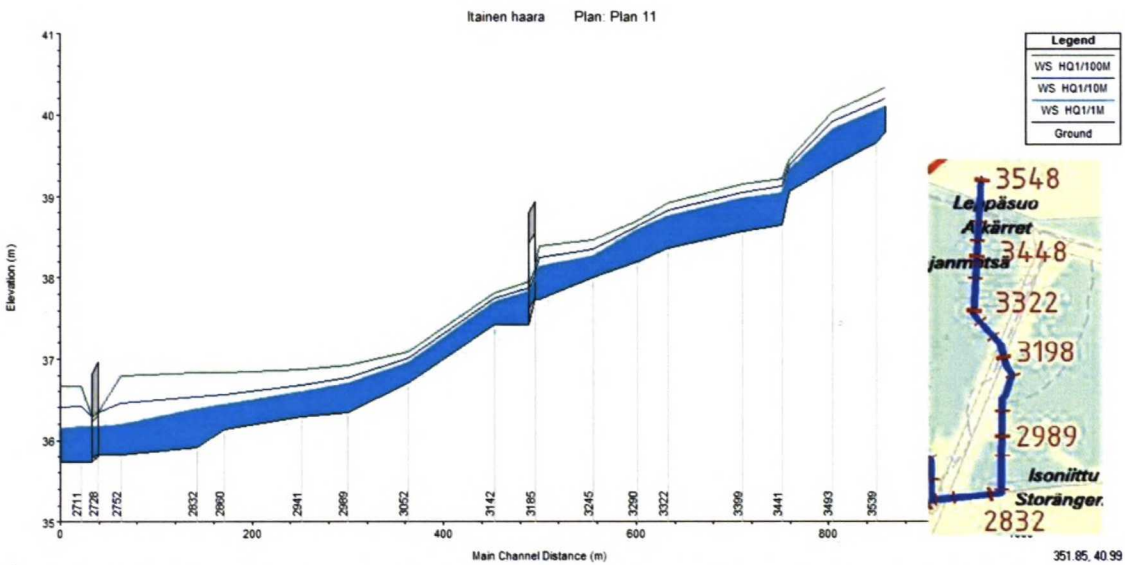


Kuva i. Kylmäojoan itähaaran sivuhaara vuonna 2030, kun pelkän ilmastonmuutoksen vaikutus virtaamaan on otettu huomioon.

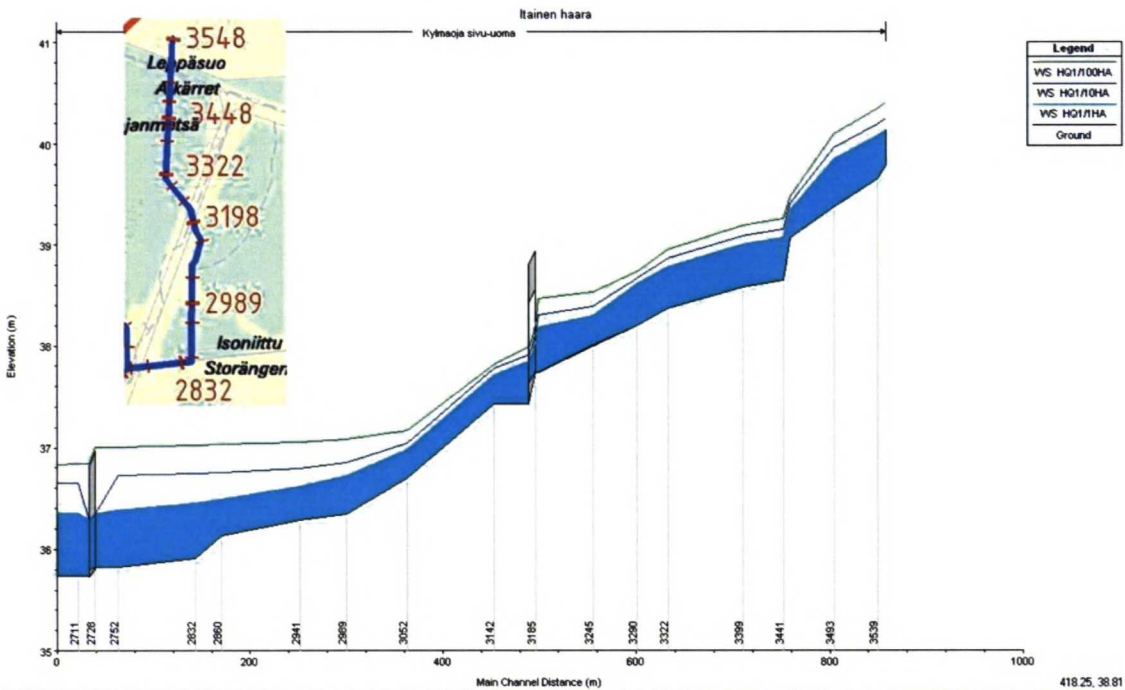


Kuva j. Kylmäojoan itähaaran sivuhaara vuonna 2030, kun sekä kaupungistumisen että ilmastonmuutoksen vaikutukset virtaamaan on otettu huomioon.

Liite 2 Pituusleikkaukset (9/9)



Kuva k. Kylmäoan itähaaran sivuhaara vuonna 2030, kun kaupungistumisen, ilmastomuutoksen sekä tasaustaiden vedenpidätyksen vaikutukset virtaamaan on otettu huomioon.



Kuva l. Kylmäoan itäisen haaran sivuhaara vuonna 2030, kun kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen yhteisvaikutus virtaamaan on otettu huomioon ja lisäksi virtaamaa on kasvatettu 20 %.

Liite 3 Vedenkorkeudet (1/13)

| | | | Nykytilanne | | Kaupungistuminen | | Ilmastonmuutos | | Kaupungistuminen ja ilmastonmuutos | | Kaupungistuminen, ilmastonmuutos ja altaat | | Herkkyysanalyysi +20% | |
|----------|---------------|---------|----------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|------------------------------------|---------------|--|---------------|-----------------------|---------------|
| Reach | River Station | Profile | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) |
| itahaara | 4815 | HQ1/1 | 0.15 | 41.51 | 0.26 | 41.6 | 0.16 | 41.52 | 0.28 | 41.62 | 0.2 | 41.56 | 0.33 | 41.66 |
| itahaara | 4815 | HQ1/5 | 0.21 | 41.56 | 0.36 | 41.68 | 0.22 | 41.57 | 0.39 | 41.69 | 0.28 | 41.62 | 0.46 | 41.74 |
| itahaara | 4815 | HQ1/10 | 0.23 | 41.58 | 0.42 | 41.71 | 0.25 | 41.59 | 0.44 | 41.73 | 0.32 | 41.65 | 0.53 | 41.78 |
| itahaara | 4815 | HQ1/20 | 0.28 | 41.62 | 0.5 | 41.76 | 0.3 | 41.63 | 0.53 | 41.78 | 0.38 | 41.69 | 0.61 | 41.83 |
| itahaara | 4815 | HQ1/50 | 0.32 | 41.65 | 0.57 | 41.81 | 0.34 | 41.66 | 0.6 | 41.82 | 0.44 | 41.73 | 0.69 | 41.87 |
| itahaara | 4815 | HQ1/100 | 0.37 | 41.68 | 0.63 | 41.84 | 0.39 | 41.69 | 0.66 | 41.86 | 0.5 | 41.76 | 0.76 | 41.91 |
| itahaara | 4153 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| itahaara | 4100 | HQ1/1 | 0.15 | 40.72 | 0.26 | 40.84 | 0.16 | 40.73 | 0.28 | 40.85 | 0.2 | 40.76 | 0.33 | 40.91 |
| itahaara | 4100 | HQ1/5 | 0.21 | 40.78 | 0.36 | 40.94 | 0.22 | 40.79 | 0.39 | 40.96 | 0.28 | 40.83 | 0.46 | 41.04 |
| itahaara | 4100 | HQ1/10 | 0.23 | 40.81 | 0.42 | 40.99 | 0.25 | 40.82 | 0.44 | 41.02 | 0.32 | 40.87 | 0.53 | 41.15 |
| itahaara | 4100 | HQ1/20 | 0.28 | 40.85 | 0.5 | 41.11 | 0.3 | 40.87 | 0.53 | 41.14 | 0.38 | 40.93 | 0.61 | 41.23 |
| itahaara | 4100 | HQ1/50 | 0.32 | 40.9 | 0.57 | 41.19 | 0.34 | 40.92 | 0.6 | 41.21 | 0.44 | 40.98 | 0.69 | 41.3 |
| itahaara | 4100 | HQ1/100 | 0.37 | 40.94 | 0.63 | 41.25 | 0.39 | 40.96 | 0.66 | 41.27 | 0.5 | 41.04 | 0.76 | 41.38 |
| itahaara | 4050 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| itahaara | 4000 | HQ1/1 | 0.15 | 40.71 | 0.26 | 40.81 | 0.16 | 40.72 | 0.28 | 40.82 | 0.2 | 40.74 | 0.33 | 40.87 |
| itahaara | 4000 | HQ1/5 | 0.21 | 40.77 | 0.36 | 40.89 | 0.22 | 40.78 | 0.39 | 40.91 | 0.28 | 40.8 | 0.46 | 40.96 |
| itahaara | 4000 | HQ1/10 | 0.23 | 40.79 | 0.42 | 40.93 | 0.25 | 40.8 | 0.44 | 40.95 | 0.32 | 40.83 | 0.53 | 41.05 |
| itahaara | 4000 | HQ1/20 | 0.28 | 40.83 | 0.5 | 41.02 | 0.3 | 40.84 | 0.53 | 41.04 | 0.38 | 40.87 | 0.61 | 41.09 |
| itahaara | 4000 | HQ1/50 | 0.32 | 40.86 | 0.57 | 41.07 | 0.34 | 40.87 | 0.6 | 41.08 | 0.44 | 40.91 | 0.69 | 41.13 |
| itahaara | 4000 | HQ1/100 | 0.37 | 40.89 | 0.63 | 41.1 | 0.39 | 40.91 | 0.66 | 41.11 | 0.5 | 40.95 | 0.76 | 41.17 |
| itahaara | 3950 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| itahaara | 3931 | HQ1/1 | 0.15 | 40.7 | 0.26 | 40.8 | 0.16 | 40.71 | 0.28 | 40.81 | 0.2 | 40.73 | 0.33 | 40.85 |
| itahaara | 3931 | HQ1/5 | 0.21 | 40.76 | 0.36 | 40.87 | 0.22 | 40.77 | 0.39 | 40.88 | 0.28 | 40.79 | 0.46 | 40.93 |
| itahaara | 3931 | HQ1/10 | 0.23 | 40.78 | 0.42 | 40.9 | 0.25 | 40.79 | 0.44 | 40.91 | 0.32 | 40.81 | 0.53 | 41 |
| itahaara | 3931 | HQ1/20 | 0.28 | 40.81 | 0.5 | 40.98 | 0.3 | 40.82 | 0.53 | 41 | 0.38 | 40.85 | 0.61 | 41.03 |
| itahaara | 3931 | HQ1/50 | 0.32 | 40.84 | 0.57 | 41.02 | 0.34 | 40.86 | 0.6 | 41.02 | 0.44 | 40.88 | 0.69 | 41.05 |
| itahaara | 3931 | HQ1/100 | 0.37 | 40.87 | 0.63 | 41.03 | 0.39 | 40.88 | 0.66 | 41.04 | 0.5 | 40.91 | 0.76 | 41.07 |
| itahaara | 3900 | HQ1/1 | 0.17 | 40.63 | 0.31 | 40.73 | 0.18 | 40.64 | 0.33 | 40.74 | 0.2 | 40.66 | 0.39 | 40.78 |
| itahaara | 3900 | HQ1/5 | 0.24 | 40.69 | 0.43 | 40.8 | 0.26 | 40.7 | 0.46 | 40.82 | 0.28 | 40.71 | 0.55 | 40.86 |
| itahaara | 3900 | HQ1/10 | 0.28 | 40.71 | 0.5 | 40.83 | 0.3 | 40.72 | 0.53 | 40.85 | 0.32 | 40.74 | 0.63 | 40.93 |
| itahaara | 3900 | HQ1/20 | 0.33 | 40.75 | 0.59 | 40.9 | 0.35 | 40.76 | 0.62 | 40.92 | 0.38 | 40.77 | 0.73 | 40.96 |
| itahaara | 3900 | HQ1/50 | 0.38 | 40.78 | 0.68 | 40.94 | 0.41 | 40.79 | 0.71 | 40.95 | 0.44 | 40.81 | 0.82 | 40.98 |
| itahaara | 3900 | HQ1/100 | 0.44 | 40.8 | 0.75 | 40.96 | 0.46 | 40.82 | 0.79 | 40.97 | 0.5 | 40.83 | 0.91 | 41.01 |
| itahaara | 3843 | HQ1/1 | 0.17 | 40.53 | 0.31 | 40.63 | 0.18 | 40.54 | 0.33 | 40.64 | 0.2 | 40.55 | 0.39 | 40.68 |
| itahaara | 3843 | HQ1/5 | 0.24 | 40.59 | 0.43 | 40.7 | 0.26 | 40.6 | 0.46 | 40.71 | 0.28 | 40.61 | 0.55 | 40.75 |
| itahaara | 3843 | HQ1/10 | 0.28 | 40.61 | 0.5 | 40.73 | 0.3 | 40.62 | 0.53 | 40.74 | 0.32 | 40.64 | 0.63 | 40.78 |
| itahaara | 3843 | HQ1/20 | 0.33 | 40.64 | 0.59 | 40.77 | 0.35 | 40.65 | 0.62 | 40.78 | 0.38 | 40.67 | 0.73 | 40.82 |
| itahaara | 3843 | HQ1/50 | 0.38 | 40.67 | 0.68 | 40.8 | 0.41 | 40.68 | 0.71 | 40.82 | 0.44 | 40.7 | 0.82 | 40.86 |
| itahaara | 3843 | HQ1/100 | 0.44 | 40.7 | 0.75 | 40.83 | 0.46 | 40.71 | 0.79 | 40.84 | 0.5 | 40.73 | 0.91 | 40.89 |

Liite 3 Vedenkorkeudet (2/13)

| | | | Nykytilanne | | Kaupungistuminen | | Ilmastomuutos | | Kaupungistuminen ja ilmastomuutos | | Kaupungistuminen, ilmastomuutos ja altaat | | Herkkyysanalyysi +20% | |
|----------|---------------|---------|----------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|---|---------------|-----------------------|---------------|
| Reach | River Station | Profile | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) |
| itahaara | 3773 | HQ1/1 | 0,17 | 40,34 | 0,31 | 40,41 | 0,18 | 40,34 | 0,33 | 40,42 | 0,2 | 40,35 | 0,39 | 40,46 |
| itahaara | 3773 | HQ1/5 | 0,24 | 40,37 | 0,43 | 40,48 | 0,26 | 40,38 | 0,46 | 40,49 | 0,28 | 40,39 | 0,55 | 40,53 |
| itahaara | 3773 | HQ1/10 | 0,28 | 40,39 | 0,5 | 40,51 | 0,3 | 40,4 | 0,53 | 40,52 | 0,32 | 40,42 | 0,63 | 40,57 |
| itahaara | 3773 | HQ1/20 | 0,33 | 40,42 | 0,59 | 40,55 | 0,35 | 40,43 | 0,62 | 40,56 | 0,38 | 40,45 | 0,73 | 40,61 |
| itahaara | 3773 | HQ1/50 | 0,38 | 40,45 | 0,68 | 40,59 | 0,41 | 40,46 | 0,71 | 40,6 | 0,44 | 40,48 | 0,82 | 40,65 |
| itahaara | 3773 | HQ1/100 | 0,44 | 40,48 | 0,75 | 40,62 | 0,46 | 40,49 | 0,79 | 40,63 | 0,5 | 40,51 | 0,91 | 40,68 |
| itahaara | 3710 | HQ1/1 | 0,17 | 40,11 | 0,31 | 40,23 | 0,18 | 40,13 | 0,33 | 40,24 | 0,2 | 40,14 | 0,39 | 40,28 |
| itahaara | 3710 | HQ1/5 | 0,24 | 40,18 | 0,43 | 40,31 | 0,26 | 40,19 | 0,46 | 40,32 | 0,28 | 40,21 | 0,55 | 40,37 |
| itahaara | 3710 | HQ1/10 | 0,28 | 40,21 | 0,5 | 40,34 | 0,3 | 40,22 | 0,53 | 40,36 | 0,32 | 40,23 | 0,63 | 40,41 |
| itahaara | 3710 | HQ1/20 | 0,33 | 40,24 | 0,59 | 40,39 | 0,35 | 40,25 | 0,62 | 40,41 | 0,38 | 40,27 | 0,73 | 40,46 |
| itahaara | 3710 | HQ1/50 | 0,38 | 40,28 | 0,68 | 40,44 | 0,41 | 40,29 | 0,71 | 40,45 | 0,44 | 40,31 | 0,82 | 40,51 |
| itahaara | 3710 | HQ1/100 | 0,44 | 40,31 | 0,75 | 40,48 | 0,46 | 40,32 | 0,79 | 40,49 | 0,5 | 40,34 | 0,91 | 40,55 |
| itahaara | 3616 | HQ1/1 | 0,17 | 40,03 | 0,31 | 40,14 | 0,18 | 40,06 | 0,33 | 40,15 | 0,2 | 40,07 | 0,39 | 40,19 |
| itahaara | 3616 | HQ1/5 | 0,24 | 40,1 | 0,43 | 40,21 | 0,26 | 40,11 | 0,46 | 40,22 | 0,28 | 40,12 | 0,55 | 40,27 |
| itahaara | 3616 | HQ1/10 | 0,28 | 40,12 | 0,5 | 40,24 | 0,3 | 40,13 | 0,53 | 40,25 | 0,32 | 40,15 | 0,63 | 40,31 |
| itahaara | 3616 | HQ1/20 | 0,33 | 40,15 | 0,59 | 40,29 | 0,35 | 40,17 | 0,62 | 40,31 | 0,38 | 40,18 | 0,73 | 40,36 |
| itahaara | 3616 | HQ1/50 | 0,38 | 40,18 | 0,68 | 40,33 | 0,41 | 40,2 | 0,71 | 40,35 | 0,44 | 40,21 | 0,82 | 40,41 |
| itahaara | 3616 | HQ1/100 | 0,44 | 40,21 | 0,75 | 40,37 | 0,46 | 40,22 | 0,79 | 40,39 | 0,5 | 40,24 | 0,91 | 40,45 |
| itahaara | 3568 | HQ1/1 | 0,17 | 40,01 | 0,31 | 40,12 | 0,18 | 40,05 | 0,33 | 40,13 | 0,2 | 40,06 | 0,39 | 40,16 |
| itahaara | 3568 | HQ1/5 | 0,24 | 40,08 | 0,43 | 40,18 | 0,26 | 40,09 | 0,46 | 40,19 | 0,28 | 40,1 | 0,55 | 40,24 |
| itahaara | 3568 | HQ1/10 | 0,28 | 40,1 | 0,5 | 40,21 | 0,3 | 40,11 | 0,53 | 40,22 | 0,32 | 40,12 | 0,63 | 40,28 |
| itahaara | 3568 | HQ1/20 | 0,33 | 40,13 | 0,59 | 40,26 | 0,35 | 40,14 | 0,62 | 40,27 | 0,38 | 40,16 | 0,73 | 40,33 |
| itahaara | 3568 | HQ1/50 | 0,38 | 40,16 | 0,68 | 40,3 | 0,41 | 40,17 | 0,71 | 40,31 | 0,44 | 40,18 | 0,82 | 40,37 |
| itahaara | 3568 | HQ1/100 | 0,44 | 40,18 | 0,75 | 40,34 | 0,46 | 40,19 | 0,79 | 40,36 | 0,5 | 40,21 | 0,91 | 40,41 |
| itahaara | 3498 | HQ1/1 | 0,17 | 39,99 | 0,31 | 40,1 | 0,18 | 40,03 | 0,33 | 40,1 | 0,2 | 40,04 | 0,39 | 40,13 |
| itahaara | 3498 | HQ1/5 | 0,24 | 40,06 | 0,43 | 40,15 | 0,26 | 40,07 | 0,46 | 40,16 | 0,28 | 40,08 | 0,55 | 40,2 |
| itahaara | 3498 | HQ1/10 | 0,28 | 40,08 | 0,5 | 40,17 | 0,3 | 40,09 | 0,53 | 40,18 | 0,32 | 40,1 | 0,63 | 40,23 |
| itahaara | 3498 | HQ1/20 | 0,33 | 40,11 | 0,59 | 40,21 | 0,35 | 40,11 | 0,62 | 40,23 | 0,38 | 40,13 | 0,73 | 40,27 |
| itahaara | 3498 | HQ1/50 | 0,38 | 40,13 | 0,68 | 40,25 | 0,41 | 40,14 | 0,71 | 40,27 | 0,44 | 40,15 | 0,82 | 40,31 |
| itahaara | 3498 | HQ1/100 | 0,44 | 40,15 | 0,75 | 40,28 | 0,46 | 40,16 | 0,79 | 40,3 | 0,5 | 40,17 | 0,91 | 40,34 |
| itahaara | 3460 | HQ1/1 | 0,17 | 39,98 | 0,31 | 40,08 | 0,18 | 40,02 | 0,33 | 40,09 | 0,2 | 40,03 | 0,39 | 40,11 |
| itahaara | 3460 | HQ1/5 | 0,24 | 40,05 | 0,43 | 40,12 | 0,26 | 40,06 | 0,46 | 40,13 | 0,28 | 40,07 | 0,55 | 40,16 |
| itahaara | 3460 | HQ1/10 | 0,28 | 40,07 | 0,5 | 40,14 | 0,3 | 40,07 | 0,53 | 40,15 | 0,32 | 40,08 | 0,63 | 40,2 |
| itahaara | 3460 | HQ1/20 | 0,33 | 40,09 | 0,59 | 40,18 | 0,35 | 40,09 | 0,62 | 40,19 | 0,38 | 40,1 | 0,73 | 40,23 |
| itahaara | 3460 | HQ1/50 | 0,38 | 40,11 | 0,68 | 40,21 | 0,41 | 40,11 | 0,71 | 40,22 | 0,44 | 40,12 | 0,82 | 40,25 |
| itahaara | 3460 | HQ1/100 | 0,44 | 40,12 | 0,75 | 40,23 | 0,46 | 40,13 | 0,79 | 40,24 | 0,5 | 40,14 | 0,91 | 40,27 |
| itahaara | 3398 | HQ1/1 | 0,17 | 39,95 | 0,31 | 40,03 | 0,18 | 39,99 | 0,33 | 40,03 | 0,2 | 39,99 | 0,39 | 40,05 |
| itahaara | 3398 | HQ1/5 | 0,24 | 40,01 | 0,43 | 40,06 | 0,26 | 40,01 | 0,46 | 40,07 | 0,28 | 40,02 | 0,55 | 40,09 |
| itahaara | 3398 | HQ1/10 | 0,28 | 40,02 | 0,5 | 40,07 | 0,3 | 40,02 | 0,53 | 40,08 | 0,32 | 40,03 | 0,63 | 40,1 |
| itahaara | 3398 | HQ1/20 | 0,33 | 40,03 | 0,59 | 40,09 | 0,35 | 40,04 | 0,62 | 40,1 | 0,38 | 40,05 | 0,73 | 40,12 |
| itahaara | 3398 | HQ1/50 | 0,38 | 40,05 | 0,68 | 40,11 | 0,41 | 40,05 | 0,71 | 40,11 | 0,44 | 40,06 | 0,82 | 40,14 |
| itahaara | 3398 | HQ1/100 | 0,44 | 40,06 | 0,75 | 40,12 | 0,46 | 40,06 | 0,79 | 40,13 | 0,5 | 40,07 | 0,91 | 40,15 |

Liite 3 Vedenkorkeudet (3/13)

| | | | Nykytilanne | | Kaupungistuminen | | Ilmastomuutos | | Kaupungistuminen ja ilmastomuutos | | Kaupungistuminen, ilmastomuutos ja altaat | | Herkkyysanalyysi +20% | |
|----------|---------------|---------|----------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|---|---------------|-----------------------|---------------|
| Reach | River Station | Profile | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) |
| itahaara | 3340 | HQ1/1 | 0,17 | 39,9 | 0,31 | 39,94 | 0,18 | 39,91 | 0,33 | 39,95 | 0,2 | 39,91 | 0,39 | 39,96 |
| itahaara | 3340 | HQ1/5 | 0,24 | 39,93 | 0,43 | 39,97 | 0,26 | 39,93 | 0,46 | 39,98 | 0,28 | 39,94 | 0,55 | 39,99 |
| itahaara | 3340 | HQ1/10 | 0,28 | 39,93 | 0,5 | 39,98 | 0,3 | 39,94 | 0,53 | 39,99 | 0,32 | 39,94 | 0,63 | 40,01 |
| itahaara | 3340 | HQ1/20 | 0,33 | 39,95 | 0,59 | 40 | 0,35 | 39,95 | 0,62 | 40,01 | 0,38 | 39,96 | 0,73 | 40,03 |
| itahaara | 3340 | HQ1/50 | 0,38 | 39,96 | 0,68 | 40,02 | 0,41 | 39,96 | 0,71 | 40,02 | 0,44 | 39,97 | 0,82 | 40,04 |
| itahaara | 3340 | HQ1/100 | 0,44 | 39,97 | 0,75 | 40,03 | 0,46 | 39,98 | 0,79 | 40,03 | 0,5 | 39,98 | 0,91 | 40,05 |
| itahaara | 3293 | HQ1/1 | 0,17 | 39,71 | 0,31 | 39,76 | 0,18 | 39,72 | 0,33 | 39,77 | 0,2 | 39,72 | 0,39 | 39,78 |
| itahaara | 3293 | HQ1/5 | 0,24 | 39,74 | 0,43 | 39,78 | 0,26 | 39,74 | 0,46 | 39,78 | 0,28 | 39,75 | 0,55 | 39,79 |
| itahaara | 3293 | HQ1/10 | 0,28 | 39,75 | 0,5 | 39,79 | 0,3 | 39,75 | 0,53 | 39,79 | 0,32 | 39,76 | 0,63 | 39,79 |
| itahaara | 3293 | HQ1/20 | 0,33 | 39,77 | 0,59 | 39,79 | 0,35 | 39,77 | 0,62 | 39,79 | 0,38 | 39,78 | 0,73 | 39,8 |
| itahaara | 3293 | HQ1/50 | 0,38 | 39,78 | 0,68 | 39,79 | 0,41 | 39,78 | 0,71 | 39,8 | 0,44 | 39,78 | 0,82 | 39,8 |
| itahaara | 3293 | HQ1/100 | 0,44 | 39,78 | 0,75 | 39,8 | 0,46 | 39,78 | 0,79 | 39,8 | 0,5 | 39,79 | 0,91 | 39,8 |
| itahaara | 3187 | HQ1/1 | 0,17 | 39,01 | 0,31 | 39,01 | 0,18 | 39,01 | 0,33 | 39,01 | 0,2 | 39,01 | 0,39 | 39,02 |
| itahaara | 3187 | HQ1/5 | 0,24 | 39,01 | 0,43 | 39,02 | 0,26 | 39,01 | 0,46 | 39,02 | 0,28 | 39,01 | 0,55 | 39,03 |
| itahaara | 3187 | HQ1/10 | 0,28 | 39,01 | 0,5 | 39,02 | 0,3 | 39,01 | 0,53 | 39,03 | 0,32 | 39,02 | 0,63 | 39,03 |
| itahaara | 3187 | HQ1/20 | 0,33 | 39,01 | 0,59 | 39,03 | 0,35 | 39,02 | 0,62 | 39,03 | 0,38 | 39,02 | 0,73 | 39,04 |
| itahaara | 3187 | HQ1/50 | 0,38 | 39,02 | 0,68 | 39,04 | 0,41 | 39,02 | 0,71 | 39,04 | 0,44 | 39,02 | 0,82 | 39,04 |
| itahaara | 3187 | HQ1/100 | 0,44 | 39,02 | 0,75 | 39,04 | 0,46 | 39,02 | 0,79 | 39,04 | 0,5 | 39,02 | 0,91 | 39,05 |
| itahaara | 3035 | HQ1/1 | 0,17 | 38,32 | 0,31 | 38,34 | 0,18 | 38,32 | 0,33 | 38,34 | 0,2 | 38,33 | 0,39 | 38,35 |
| itahaara | 3035 | HQ1/5 | 0,24 | 38,33 | 0,43 | 38,35 | 0,26 | 38,33 | 0,46 | 38,35 | 0,28 | 38,34 | 0,55 | 38,36 |
| itahaara | 3035 | HQ1/10 | 0,28 | 38,34 | 0,5 | 38,36 | 0,3 | 38,34 | 0,53 | 38,36 | 0,32 | 38,34 | 0,63 | 38,36 |
| itahaara | 3035 | HQ1/20 | 0,33 | 38,34 | 0,59 | 38,36 | 0,35 | 38,35 | 0,62 | 38,36 | 0,38 | 38,35 | 0,73 | 38,37 |
| itahaara | 3035 | HQ1/50 | 0,38 | 38,35 | 0,68 | 38,37 | 0,41 | 38,35 | 0,71 | 38,37 | 0,44 | 38,35 | 0,82 | 38,37 |
| itahaara | 3035 | HQ1/100 | 0,44 | 38,35 | 0,75 | 38,37 | 0,46 | 38,35 | 0,79 | 38,37 | 0,5 | 38,36 | 0,91 | 38,37 |
| itahaara | 2970 | HQ1/1 | 0,17 | 37,77 | 0,31 | 37,83 | 0,18 | 37,77 | 0,33 | 37,89 | 0,2 | 37,78 | 0,39 | 37,9 |
| itahaara | 2970 | HQ1/5 | 0,24 | 37,8 | 0,43 | 37,9 | 0,26 | 37,81 | 0,46 | 37,91 | 0,28 | 37,81 | 0,55 | 37,92 |
| itahaara | 2970 | HQ1/10 | 0,28 | 37,81 | 0,5 | 37,91 | 0,3 | 37,82 | 0,53 | 37,92 | 0,32 | 37,83 | 0,63 | 37,93 |
| itahaara | 2970 | HQ1/20 | 0,33 | 37,89 | 0,59 | 37,93 | 0,35 | 37,89 | 0,62 | 37,93 | 0,38 | 37,9 | 0,73 | 37,94 |
| itahaara | 2970 | HQ1/50 | 0,38 | 37,9 | 0,68 | 37,94 | 0,41 | 37,9 | 0,71 | 37,94 | 0,44 | 37,9 | 0,82 | 37,96 |
| itahaara | 2970 | HQ1/100 | 0,44 | 37,9 | 0,75 | 37,95 | 0,46 | 37,91 | 0,79 | 37,95 | 0,5 | 37,91 | 0,91 | 37,97 |
| itahaara | 2923 | HQ1/1 | 0,17 | 37,08 | 0,31 | 37,18 | 0,18 | 37,09 | 0,33 | 37,19 | 0,2 | 37,1 | 0,39 | 37,24 |
| itahaara | 2923 | HQ1/5 | 0,24 | 37,14 | 0,43 | 37,26 | 0,26 | 37,15 | 0,46 | 37,28 | 0,28 | 37,16 | 0,55 | 37,33 |
| itahaara | 2923 | HQ1/10 | 0,28 | 37,16 | 0,5 | 37,3 | 0,3 | 37,17 | 0,53 | 37,31 | 0,32 | 37,19 | 0,63 | 37,37 |
| itahaara | 2923 | HQ1/20 | 0,33 | 37,2 | 0,59 | 37,35 | 0,35 | 37,21 | 0,62 | 37,37 | 0,38 | 37,23 | 0,73 | 37,42 |
| itahaara | 2923 | HQ1/50 | 0,38 | 37,23 | 0,68 | 37,39 | 0,41 | 37,25 | 0,71 | 37,41 | 0,44 | 37,27 | 0,82 | 37,46 |
| itahaara | 2923 | HQ1/100 | 0,44 | 37,26 | 0,75 | 37,43 | 0,46 | 37,28 | 0,79 | 37,45 | 0,5 | 37,3 | 0,91 | 37,5 |
| itahaara | 2884 | HQ1/1 | 0,17 | 36,82 | 0,31 | 36,93 | 0,18 | 36,83 | 0,33 | 36,94 | 0,2 | 36,84 | 0,39 | 36,99 |
| itahaara | 2884 | HQ1/5 | 0,24 | 36,88 | 0,43 | 37,01 | 0,26 | 36,89 | 0,46 | 37,03 | 0,28 | 36,91 | 0,55 | 37,08 |
| itahaara | 2884 | HQ1/10 | 0,28 | 36,91 | 0,5 | 37,05 | 0,3 | 36,92 | 0,53 | 37,07 | 0,32 | 36,93 | 0,63 | 37,12 |
| itahaara | 2884 | HQ1/20 | 0,33 | 36,95 | 0,59 | 37,1 | 0,35 | 36,96 | 0,62 | 37,12 | 0,38 | 36,97 | 0,73 | 37,18 |
| itahaara | 2884 | HQ1/50 | 0,38 | 36,98 | 0,68 | 37,15 | 0,41 | 37 | 0,71 | 37,17 | 0,44 | 37,01 | 0,82 | 37,23 |
| itahaara | 2884 | HQ1/100 | 0,44 | 37,01 | 0,75 | 37,19 | 0,46 | 37,03 | 0,79 | 37,21 | 0,5 | 37,05 | 0,91 | 37,27 |

Liite 3 Vedenkorkeudet (4/13)

| | | | Nykytilanne | | Kaupungistuminen | | Ilmastomuutos | | Kaupungistuminen ja ilmastomuutos | | Kaupungistuminen, ilmastomuutos ja altaat | | Herkkyysanalyysi +20% | |
|-----------|---------------|---------|----------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|---|---------------|-----------------------|---------------|
| Reach | River Station | Profile | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) |
| itahaara | 2804 | HQ1/1 | 0,17 | 36,51 | 0,31 | 36,61 | 0,18 | 36,52 | 0,33 | 36,62 | 0,2 | 36,52 | 0,39 | 36,67 |
| itahaara | 2804 | HQ1/5 | 0,24 | 36,56 | 0,43 | 36,7 | 0,26 | 36,57 | 0,46 | 36,72 | 0,28 | 36,59 | 0,55 | 36,79 |
| itahaara | 2804 | HQ1/10 | 0,28 | 36,58 | 0,5 | 36,75 | 0,3 | 36,6 | 0,53 | 36,77 | 0,32 | 36,63 | 0,63 | 36,85 |
| itahaara | 2804 | HQ1/20 | 0,33 | 36,62 | 0,59 | 36,82 | 0,35 | 36,64 | 0,62 | 36,84 | 0,38 | 36,69 | 0,73 | 36,91 |
| itahaara | 2804 | HQ1/50 | 0,38 | 36,66 | 0,68 | 36,88 | 0,41 | 36,68 | 0,71 | 36,9 | 0,44 | 36,75 | 0,82 | 36,97 |
| itahaara | 2804 | HQ1/100 | 0,44 | 36,7 | 0,75 | 36,92 | 0,46 | 36,72 | 0,79 | 36,95 | 0,5 | 36,81 | 0,91 | 37,02 |
| itahaara | 2759 | HQ1/1 | 0,17 | 36,24 | 0,31 | 36,38 | 0,18 | 36,25 | 0,33 | 36,4 | 0,2 | 36,29 | 0,39 | 36,48 |
| itahaara | 2759 | HQ1/5 | 0,24 | 36,32 | 0,43 | 36,54 | 0,26 | 36,33 | 0,46 | 36,58 | 0,28 | 36,41 | 0,55 | 36,67 |
| itahaara | 2759 | HQ1/10 | 0,28 | 36,35 | 0,5 | 36,62 | 0,3 | 36,37 | 0,53 | 36,65 | 0,32 | 36,49 | 0,63 | 36,73 |
| itahaara | 2759 | HQ1/20 | 0,33 | 36,41 | 0,59 | 36,7 | 0,35 | 36,43 | 0,62 | 36,73 | 0,38 | 36,6 | 0,73 | 36,81 |
| itahaara | 2759 | HQ1/50 | 0,38 | 36,47 | 0,68 | 36,77 | 0,41 | 36,5 | 0,71 | 36,79 | 0,44 | 36,67 | 0,82 | 36,87 |
| itahaara | 2759 | HQ1/100 | 0,44 | 36,54 | 0,75 | 36,82 | 0,46 | 36,58 | 0,79 | 36,85 | 0,5 | 36,73 | 0,91 | 36,93 |
| itahaara | 2692 | HQ1/1 | 0,17 | 36,14 | 0,31 | 36,3 | 0,18 | 36,15 | 0,33 | 36,32 | 0,2 | 36,23 | 0,39 | 36,42 |
| itahaara | 2692 | HQ1/5 | 0,24 | 36,22 | 0,43 | 36,49 | 0,26 | 36,24 | 0,46 | 36,53 | 0,28 | 36,37 | 0,55 | 36,63 |
| itahaara | 2692 | HQ1/10 | 0,28 | 36,26 | 0,5 | 36,57 | 0,3 | 36,28 | 0,53 | 36,61 | 0,32 | 36,46 | 0,63 | 36,69 |
| itahaara | 2692 | HQ1/20 | 0,33 | 36,32 | 0,59 | 36,66 | 0,35 | 36,35 | 0,62 | 36,69 | 0,38 | 36,57 | 0,73 | 36,77 |
| itahaara | 2692 | HQ1/50 | 0,38 | 36,4 | 0,68 | 36,73 | 0,41 | 36,44 | 0,71 | 36,75 | 0,44 | 36,65 | 0,82 | 36,83 |
| itahaara | 2692 | HQ1/100 | 0,44 | 36,49 | 0,75 | 36,78 | 0,46 | 36,53 | 0,79 | 36,81 | 0,5 | 36,71 | 0,91 | 36,89 |
| sivu-uoma | 3548 | HQ1/1 | 0,1 | 40 | 0,17 | 40,09 | 0,1 | 40,01 | 0,18 | 40,1 | 0,18 | 40,1 | 0,22 | 40,14 |
| sivu-uoma | 3548 | HQ1/5 | 0,13 | 40,05 | 0,24 | 40,16 | 0,14 | 40,06 | 0,25 | 40,17 | 0,25 | 40,17 | 0,3 | 40,22 |
| sivu-uoma | 3548 | HQ1/10 | 0,15 | 40,07 | 0,27 | 40,19 | 0,16 | 40,08 | 0,29 | 40,2 | 0,29 | 40,2 | 0,35 | 40,25 |
| sivu-uoma | 3548 | HQ1/20 | 0,18 | 40,1 | 0,33 | 40,23 | 0,19 | 40,11 | 0,34 | 40,25 | 0,34 | 40,25 | 0,41 | 40,31 |
| sivu-uoma | 3548 | HQ1/50 | 0,21 | 40,13 | 0,38 | 40,28 | 0,22 | 40,14 | 0,4 | 40,29 | 0,4 | 40,29 | 0,48 | 40,36 |
| sivu-uoma | 3548 | HQ1/100 | 0,24 | 40,16 | 0,43 | 40,32 | 0,25 | 40,17 | 0,45 | 40,34 | 0,45 | 40,34 | 0,54 | 40,41 |
| sivu-uoma | 3539 | HQ1/1 | 0,1 | 39,93 | 0,17 | 40,03 | 0,1 | 39,94 | 0,18 | 40,04 | 0,18 | 40,04 | 0,22 | 40,08 |
| sivu-uoma | 3539 | HQ1/5 | 0,13 | 39,98 | 0,24 | 40,1 | 0,14 | 39,99 | 0,25 | 40,11 | 0,25 | 40,11 | 0,3 | 40,16 |
| sivu-uoma | 3539 | HQ1/10 | 0,15 | 40,01 | 0,27 | 40,13 | 0,16 | 40,02 | 0,29 | 40,14 | 0,29 | 40,14 | 0,35 | 40,2 |
| sivu-uoma | 3539 | HQ1/20 | 0,18 | 40,04 | 0,33 | 40,18 | 0,19 | 40,05 | 0,34 | 40,19 | 0,34 | 40,19 | 0,41 | 40,25 |
| sivu-uoma | 3539 | HQ1/50 | 0,21 | 40,07 | 0,38 | 40,22 | 0,22 | 40,08 | 0,4 | 40,24 | 0,4 | 40,24 | 0,48 | 40,3 |
| sivu-uoma | 3539 | HQ1/100 | 0,24 | 40,1 | 0,43 | 40,26 | 0,25 | 40,11 | 0,45 | 40,28 | 0,45 | 40,28 | 0,54 | 40,35 |
| sivu-uoma | 3493 | HQ1/1 | 0,1 | 39,71 | 0,17 | 39,81 | 0,1 | 39,72 | 0,18 | 39,82 | 0,18 | 39,82 | 0,22 | 39,85 |
| sivu-uoma | 3493 | HQ1/5 | 0,13 | 39,76 | 0,24 | 39,87 | 0,14 | 39,77 | 0,25 | 39,89 | 0,25 | 39,89 | 0,3 | 39,93 |
| sivu-uoma | 3493 | HQ1/10 | 0,15 | 39,79 | 0,27 | 39,9 | 0,16 | 39,8 | 0,29 | 39,92 | 0,29 | 39,92 | 0,35 | 39,96 |
| sivu-uoma | 3493 | HQ1/20 | 0,18 | 39,82 | 0,33 | 39,94 | 0,19 | 39,83 | 0,34 | 39,96 | 0,34 | 39,96 | 0,41 | 40,01 |
| sivu-uoma | 3493 | HQ1/50 | 0,21 | 39,85 | 0,38 | 39,98 | 0,22 | 39,86 | 0,4 | 40 | 0,4 | 40 | 0,48 | 40,06 |
| sivu-uoma | 3493 | HQ1/100 | 0,24 | 39,87 | 0,43 | 40,02 | 0,25 | 39,89 | 0,45 | 40,04 | 0,45 | 40,04 | 0,54 | 40,1 |
| sivu-uoma | 3448 | HQ1/1 | 0,1 | 39,27 | 0,17 | 39,32 | 0,1 | 39,27 | 0,18 | 39,33 | 0,18 | 39,33 | 0,22 | 39,35 |
| sivu-uoma | 3448 | HQ1/5 | 0,13 | 39,3 | 0,24 | 39,36 | 0,14 | 39,3 | 0,25 | 39,37 | 0,25 | 39,37 | 0,3 | 39,39 |
| sivu-uoma | 3448 | HQ1/10 | 0,15 | 39,31 | 0,27 | 39,38 | 0,16 | 39,32 | 0,29 | 39,39 | 0,29 | 39,39 | 0,35 | 39,41 |
| sivu-uoma | 3448 | HQ1/20 | 0,18 | 39,33 | 0,33 | 39,4 | 0,19 | 39,34 | 0,34 | 39,41 | 0,34 | 39,41 | 0,41 | 39,44 |
| sivu-uoma | 3448 | HQ1/50 | 0,21 | 39,35 | 0,38 | 39,43 | 0,22 | 39,35 | 0,4 | 39,43 | 0,4 | 39,43 | 0,48 | 39,46 |
| sivu-uoma | 3448 | HQ1/100 | 0,24 | 39,36 | 0,43 | 39,45 | 0,25 | 39,37 | 0,45 | 39,46 | 0,45 | 39,46 | 0,54 | 39,49 |

Liite 3 Vedenkorkeudet (5/13)

| | | | Nykytilanne | | Kaupungistuminen | | Ilmastonmuutos | | Kaupungistuminen ja ilmastonmuutos | | Kaupungistuminen, ilmastonmuutos ja altaat | | Herkkyysanalyysi +20% | |
|-----------|---------------|---------|----------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|------------------------------------|---------------|--|---------------|-----------------------|---------------|
| Reach | River Station | Profile | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) |
| sivu-uoma | 3441 | HQ1/1 | 0,1 | 38,95 | 0,17 | 39,03 | 0,1 | 38,95 | 0,18 | 39,04 | 0,18 | 39,04 | 0,22 | 39,07 |
| sivu-uoma | 3441 | HQ1/5 | 0,13 | 38,99 | 0,24 | 39,09 | 0,14 | 39 | 0,25 | 39,1 | 0,25 | 39,1 | 0,3 | 39,13 |
| sivu-uoma | 3441 | HQ1/10 | 0,15 | 39,01 | 0,27 | 39,11 | 0,16 | 39,02 | 0,29 | 39,12 | 0,29 | 39,12 | 0,35 | 39,16 |
| sivu-uoma | 3441 | HQ1/20 | 0,18 | 39,04 | 0,33 | 39,15 | 0,19 | 39,05 | 0,34 | 39,16 | 0,34 | 39,16 | 0,41 | 39,2 |
| sivu-uoma | 3441 | HQ1/50 | 0,21 | 39,06 | 0,38 | 39,18 | 0,22 | 39,07 | 0,4 | 39,19 | 0,4 | 39,19 | 0,48 | 39,23 |
| sivu-uoma | 3441 | HQ1/100 | 0,24 | 39,09 | 0,43 | 39,21 | 0,25 | 39,1 | 0,45 | 39,22 | 0,45 | 39,22 | 0,54 | 39,27 |
| sivu-uoma | 3399 | HQ1/1 | 0,1 | 38,88 | 0,17 | 38,96 | 0,1 | 38,89 | 0,18 | 38,97 | 0,18 | 38,97 | 0,22 | 39 |
| sivu-uoma | 3399 | HQ1/5 | 0,13 | 38,93 | 0,24 | 39,02 | 0,14 | 38,93 | 0,25 | 39,03 | 0,25 | 39,03 | 0,3 | 39,06 |
| sivu-uoma | 3399 | HQ1/10 | 0,15 | 38,95 | 0,27 | 39,04 | 0,16 | 38,95 | 0,29 | 39,05 | 0,29 | 39,05 | 0,35 | 39,09 |
| sivu-uoma | 3399 | HQ1/20 | 0,18 | 38,97 | 0,33 | 39,08 | 0,19 | 38,98 | 0,34 | 39,09 | 0,34 | 39,09 | 0,41 | 39,13 |
| sivu-uoma | 3399 | HQ1/50 | 0,21 | 39 | 0,38 | 39,11 | 0,22 | 39,01 | 0,4 | 39,12 | 0,4 | 39,12 | 0,48 | 39,16 |
| sivu-uoma | 3399 | HQ1/100 | 0,24 | 39,02 | 0,43 | 39,14 | 0,25 | 39,03 | 0,45 | 39,15 | 0,45 | 39,15 | 0,54 | 39,19 |
| sivu-uoma | 3322 | HQ1/1 | 0,1 | 38,67 | 0,17 | 38,75 | 0,1 | 38,67 | 0,18 | 38,76 | 0,18 | 38,76 | 0,22 | 38,78 |
| sivu-uoma | 3322 | HQ1/5 | 0,13 | 38,71 | 0,24 | 38,8 | 0,14 | 38,72 | 0,25 | 38,81 | 0,25 | 38,81 | 0,3 | 38,84 |
| sivu-uoma | 3322 | HQ1/10 | 0,15 | 38,73 | 0,27 | 38,82 | 0,16 | 38,74 | 0,29 | 38,83 | 0,29 | 38,83 | 0,35 | 38,87 |
| sivu-uoma | 3322 | HQ1/20 | 0,18 | 38,76 | 0,33 | 38,85 | 0,19 | 38,76 | 0,34 | 38,86 | 0,34 | 38,86 | 0,41 | 38,9 |
| sivu-uoma | 3322 | HQ1/50 | 0,21 | 38,78 | 0,38 | 38,88 | 0,22 | 38,79 | 0,4 | 38,89 | 0,4 | 38,89 | 0,48 | 38,93 |
| sivu-uoma | 3322 | HQ1/100 | 0,24 | 38,8 | 0,43 | 38,91 | 0,25 | 38,81 | 0,45 | 38,92 | 0,45 | 38,92 | 0,54 | 38,96 |
| sivu-uoma | 3290 | HQ1/1 | 0,1 | 38,52 | 0,17 | 38,58 | 0,1 | 38,53 | 0,18 | 38,59 | 0,18 | 38,59 | 0,22 | 38,61 |
| sivu-uoma | 3290 | HQ1/5 | 0,13 | 38,55 | 0,24 | 38,62 | 0,14 | 38,56 | 0,25 | 38,62 | 0,25 | 38,62 | 0,3 | 38,64 |
| sivu-uoma | 3290 | HQ1/10 | 0,15 | 38,57 | 0,27 | 38,63 | 0,16 | 38,57 | 0,29 | 38,64 | 0,29 | 38,64 | 0,35 | 38,66 |
| sivu-uoma | 3290 | HQ1/20 | 0,18 | 38,59 | 0,33 | 38,65 | 0,19 | 38,59 | 0,34 | 38,66 | 0,34 | 38,66 | 0,41 | 38,69 |
| sivu-uoma | 3290 | HQ1/50 | 0,21 | 38,6 | 0,38 | 38,67 | 0,22 | 38,61 | 0,4 | 38,68 | 0,4 | 38,68 | 0,48 | 38,71 |
| sivu-uoma | 3290 | HQ1/100 | 0,24 | 38,62 | 0,43 | 38,69 | 0,25 | 38,62 | 0,45 | 38,7 | 0,45 | 38,7 | 0,54 | 38,73 |
| sivu-uoma | 3245 | HQ1/1 | 0,1 | 38,19 | 0,17 | 38,26 | 0,1 | 38,2 | 0,18 | 38,26 | 0,18 | 38,26 | 0,22 | 38,29 |
| sivu-uoma | 3245 | HQ1/5 | 0,13 | 38,23 | 0,24 | 38,31 | 0,14 | 38,23 | 0,25 | 38,32 | 0,25 | 38,32 | 0,3 | 38,36 |
| sivu-uoma | 3245 | HQ1/10 | 0,15 | 38,24 | 0,27 | 38,34 | 0,16 | 38,25 | 0,29 | 38,35 | 0,29 | 38,35 | 0,35 | 38,39 |
| sivu-uoma | 3245 | HQ1/20 | 0,18 | 38,26 | 0,33 | 38,38 | 0,19 | 38,27 | 0,34 | 38,39 | 0,34 | 38,39 | 0,41 | 38,44 |
| sivu-uoma | 3245 | HQ1/50 | 0,21 | 38,29 | 0,38 | 38,41 | 0,22 | 38,3 | 0,4 | 38,43 | 0,4 | 38,43 | 0,48 | 38,48 |
| sivu-uoma | 3245 | HQ1/100 | 0,24 | 38,31 | 0,43 | 38,45 | 0,25 | 38,32 | 0,45 | 38,47 | 0,45 | 38,47 | 0,54 | 38,53 |
| sivu-uoma | 3189 | HQ1/1 | 0,1 | 38,02 | 0,17 | 38,12 | 0,1 | 38,03 | 0,18 | 38,13 | 0,18 | 38,13 | 0,22 | 38,17 |
| sivu-uoma | 3189 | HQ1/5 | 0,13 | 38,08 | 0,24 | 38,2 | 0,14 | 38,09 | 0,25 | 38,21 | 0,25 | 38,21 | 0,3 | 38,26 |
| sivu-uoma | 3189 | HQ1/10 | 0,15 | 38,1 | 0,27 | 38,23 | 0,16 | 38,11 | 0,29 | 38,25 | 0,29 | 38,25 | 0,35 | 38,3 |
| sivu-uoma | 3189 | HQ1/20 | 0,18 | 38,14 | 0,33 | 38,28 | 0,19 | 38,15 | 0,34 | 38,3 | 0,34 | 38,3 | 0,41 | 38,36 |
| sivu-uoma | 3189 | HQ1/50 | 0,21 | 38,17 | 0,38 | 38,33 | 0,22 | 38,18 | 0,4 | 38,34 | 0,4 | 38,34 | 0,48 | 38,41 |
| sivu-uoma | 3189 | HQ1/100 | 0,24 | 38,2 | 0,43 | 38,37 | 0,25 | 38,21 | 0,45 | 38,39 | 0,45 | 38,39 | 0,54 | 38,46 |
| sivu-uoma | 3185 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| sivu-uoma | 3142 | HQ1/1 | 0,1 | 37,64 | 0,17 | 37,69 | 0,1 | 37,64 | 0,18 | 37,69 | 0,18 | 37,69 | 0,22 | 37,71 |
| sivu-uoma | 3142 | HQ1/5 | 0,13 | 37,66 | 0,24 | 37,72 | 0,14 | 37,67 | 0,25 | 37,73 | 0,25 | 37,73 | 0,3 | 37,76 |
| sivu-uoma | 3142 | HQ1/10 | 0,15 | 37,68 | 0,27 | 37,74 | 0,16 | 37,68 | 0,29 | 37,75 | 0,29 | 37,75 | 0,35 | 37,78 |
| sivu-uoma | 3142 | HQ1/20 | 0,18 | 37,69 | 0,33 | 37,77 | 0,19 | 37,7 | 0,34 | 37,78 | 0,34 | 37,77 | 0,41 | 37,8 |
| sivu-uoma | 3142 | HQ1/50 | 0,21 | 37,71 | 0,38 | 37,79 | 0,22 | 37,71 | 0,4 | 37,8 | 0,4 | 37,79 | 0,48 | 37,81 |
| sivu-uoma | 3142 | HQ1/100 | 0,24 | 37,72 | 0,43 | 37,8 | 0,25 | 37,73 | 0,45 | 37,81 | 0,45 | 37,81 | 0,54 | 37,82 |

Liite 3 Vedenkorkeudet (6/13)

| | | | Nykytilanne | | Kaupungistuminen | | Ilmastomuutos | | Kaupungistuminen ja ilmastomuutos | | Kaupungistuminen, ilmastomuutos ja altaat | | Herkkyysanalyysi +20% | |
|-----------|---------------|---------|----------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|---|---------------|-----------------------|---------------|
| Reach | River Station | Profile | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) |
| sivu-uoma | 3052 | HQ1/1 | 0,1 | 36,89 | 0,17 | 36,95 | 0,1 | 36,89 | 0,18 | 36,95 | 0,18 | 36,95 | 0,22 | 36,98 |
| sivu-uoma | 3052 | HQ1/5 | 0,13 | 36,92 | 0,24 | 36,99 | 0,14 | 36,92 | 0,25 | 37 | 0,25 | 37 | 0,3 | 37,02 |
| sivu-uoma | 3052 | HQ1/10 | 0,15 | 36,93 | 0,27 | 37,01 | 0,16 | 36,94 | 0,29 | 37,01 | 0,29 | 37,02 | 0,35 | 37,04 |
| sivu-uoma | 3052 | HQ1/20 | 0,18 | 36,95 | 0,33 | 37,03 | 0,19 | 36,96 | 0,34 | 37,04 | 0,34 | 37,04 | 0,41 | 37,08 |
| sivu-uoma | 3052 | HQ1/50 | 0,21 | 36,97 | 0,38 | 37,05 | 0,22 | 36,98 | 0,4 | 37,07 | 0,4 | 37,07 | 0,48 | 37,12 |
| sivu-uoma | 3052 | HQ1/100 | 0,24 | 36,99 | 0,43 | 37,08 | 0,25 | 37 | 0,45 | 37,1 | 0,45 | 37,09 | 0,54 | 37,17 |
| sivu-uoma | 2989 | HQ1/1 | 0,1 | 36,62 | 0,17 | 36,69 | 0,1 | 36,62 | 0,18 | 36,7 | 0,18 | 36,69 | 0,22 | 36,72 |
| sivu-uoma | 2989 | HQ1/5 | 0,13 | 36,65 | 0,24 | 36,74 | 0,14 | 36,66 | 0,25 | 36,75 | 0,25 | 36,75 | 0,3 | 36,8 |
| sivu-uoma | 2989 | HQ1/10 | 0,15 | 36,67 | 0,27 | 36,77 | 0,16 | 36,68 | 0,29 | 36,79 | 0,29 | 36,77 | 0,35 | 36,85 |
| sivu-uoma | 2989 | HQ1/20 | 0,18 | 36,7 | 0,33 | 36,82 | 0,19 | 36,7 | 0,34 | 36,84 | 0,34 | 36,82 | 0,41 | 36,93 |
| sivu-uoma | 2989 | HQ1/50 | 0,21 | 36,72 | 0,38 | 36,88 | 0,22 | 36,73 | 0,4 | 36,91 | 0,4 | 36,87 | 0,48 | 37,01 |
| sivu-uoma | 2989 | HQ1/100 | 0,24 | 36,74 | 0,43 | 36,94 | 0,25 | 36,75 | 0,45 | 36,97 | 0,45 | 36,92 | 0,54 | 37,08 |
| sivu-uoma | 2941 | HQ1/1 | 0,1 | 36,52 | 0,17 | 36,58 | 0,1 | 36,52 | 0,18 | 36,59 | 0,18 | 36,59 | 0,22 | 36,62 |
| sivu-uoma | 2941 | HQ1/5 | 0,13 | 36,55 | 0,24 | 36,64 | 0,14 | 36,56 | 0,25 | 36,66 | 0,25 | 36,64 | 0,3 | 36,73 |
| sivu-uoma | 2941 | HQ1/10 | 0,15 | 36,57 | 0,27 | 36,69 | 0,16 | 36,57 | 0,29 | 36,71 | 0,29 | 36,67 | 0,35 | 36,8 |
| sivu-uoma | 2941 | HQ1/20 | 0,18 | 36,59 | 0,33 | 36,76 | 0,19 | 36,6 | 0,34 | 36,79 | 0,34 | 36,73 | 0,41 | 36,89 |
| sivu-uoma | 2941 | HQ1/50 | 0,21 | 36,61 | 0,38 | 36,84 | 0,22 | 36,62 | 0,4 | 36,87 | 0,4 | 36,8 | 0,48 | 36,98 |
| sivu-uoma | 2941 | HQ1/100 | 0,24 | 36,64 | 0,43 | 36,91 | 0,25 | 36,66 | 0,45 | 36,94 | 0,45 | 36,88 | 0,54 | 37,06 |
| sivu-uoma | 2860 | HQ1/1 | 0,1 | 36,34 | 0,17 | 36,42 | 0,1 | 36,34 | 0,18 | 36,43 | 0,18 | 36,43 | 0,22 | 36,49 |
| sivu-uoma | 2860 | HQ1/5 | 0,13 | 36,38 | 0,24 | 36,54 | 0,14 | 36,39 | 0,25 | 36,58 | 0,25 | 36,5 | 0,3 | 36,69 |
| sivu-uoma | 2860 | HQ1/10 | 0,15 | 36,4 | 0,27 | 36,62 | 0,16 | 36,41 | 0,29 | 36,66 | 0,29 | 36,56 | 0,35 | 36,76 |
| sivu-uoma | 2860 | HQ1/20 | 0,18 | 36,43 | 0,33 | 36,72 | 0,19 | 36,44 | 0,34 | 36,75 | 0,34 | 36,67 | 0,41 | 36,86 |
| sivu-uoma | 2860 | HQ1/50 | 0,21 | 36,47 | 0,38 | 36,81 | 0,22 | 36,5 | 0,4 | 36,84 | 0,4 | 36,76 | 0,48 | 36,96 |
| sivu-uoma | 2860 | HQ1/100 | 0,24 | 36,54 | 0,43 | 36,88 | 0,25 | 36,58 | 0,45 | 36,92 | 0,45 | 36,84 | 0,54 | 37,04 |
| sivu-uoma | 2832 | HQ1/1 | 0,1 | 36,29 | 0,17 | 36,37 | 0,1 | 36,29 | 0,18 | 36,38 | 0,18 | 36,38 | 0,22 | 36,45 |
| sivu-uoma | 2832 | HQ1/5 | 0,13 | 36,33 | 0,24 | 36,52 | 0,14 | 36,33 | 0,25 | 36,56 | 0,25 | 36,46 | 0,3 | 36,67 |
| sivu-uoma | 2832 | HQ1/10 | 0,15 | 36,35 | 0,27 | 36,61 | 0,16 | 36,36 | 0,29 | 36,64 | 0,29 | 36,53 | 0,35 | 36,75 |
| sivu-uoma | 2832 | HQ1/20 | 0,18 | 36,38 | 0,33 | 36,71 | 0,19 | 36,4 | 0,34 | 36,74 | 0,34 | 36,65 | 0,41 | 36,85 |
| sivu-uoma | 2832 | HQ1/50 | 0,21 | 36,44 | 0,38 | 36,8 | 0,22 | 36,47 | 0,4 | 36,83 | 0,4 | 36,74 | 0,48 | 36,95 |
| sivu-uoma | 2832 | HQ1/100 | 0,24 | 36,52 | 0,43 | 36,87 | 0,25 | 36,56 | 0,45 | 36,91 | 0,45 | 36,83 | 0,54 | 37,03 |
| sivu-uoma | 2752 | HQ1/1 | 0,1 | 36,08 | 0,17 | 36,23 | 0,1 | 36,09 | 0,18 | 36,26 | 0,18 | 36,19 | 0,22 | 36,38 |
| sivu-uoma | 2752 | HQ1/5 | 0,13 | 36,15 | 0,24 | 36,47 | 0,14 | 36,17 | 0,25 | 36,52 | 0,25 | 36,34 | 0,3 | 36,65 |
| sivu-uoma | 2752 | HQ1/10 | 0,15 | 36,19 | 0,27 | 36,58 | 0,16 | 36,21 | 0,29 | 36,62 | 0,29 | 36,46 | 0,35 | 36,73 |
| sivu-uoma | 2752 | HQ1/20 | 0,18 | 36,26 | 0,33 | 36,69 | 0,19 | 36,3 | 0,34 | 36,72 | 0,34 | 36,61 | 0,41 | 36,83 |
| sivu-uoma | 2752 | HQ1/50 | 0,21 | 36,36 | 0,38 | 36,78 | 0,22 | 36,41 | 0,4 | 36,81 | 0,4 | 36,71 | 0,48 | 36,93 |
| sivu-uoma | 2752 | HQ1/100 | 0,24 | 36,48 | 0,43 | 36,85 | 0,25 | 36,52 | 0,45 | 36,89 | 0,45 | 36,8 | 0,54 | 37,01 |
| sivu-uoma | 2728 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| sivu-uoma | 2711 | HQ1/1 | 0,1 | 36,07 | 0,17 | 36,21 | 0,1 | 36,08 | 0,18 | 36,24 | 0,18 | 36,17 | 0,22 | 36,36 |
| sivu-uoma | 2711 | HQ1/5 | 0,13 | 36,14 | 0,24 | 36,44 | 0,14 | 36,15 | 0,25 | 36,48 | 0,25 | 36,31 | 0,3 | 36,59 |
| sivu-uoma | 2711 | HQ1/10 | 0,15 | 36,18 | 0,27 | 36,53 | 0,16 | 36,2 | 0,29 | 36,56 | 0,29 | 36,41 | 0,35 | 36,65 |
| sivu-uoma | 2711 | HQ1/20 | 0,18 | 36,24 | 0,33 | 36,62 | 0,19 | 36,27 | 0,34 | 36,65 | 0,34 | 36,54 | 0,41 | 36,73 |
| sivu-uoma | 2711 | HQ1/50 | 0,21 | 36,33 | 0,38 | 36,69 | 0,22 | 36,38 | 0,4 | 36,71 | 0,4 | 36,61 | 0,48 | 36,78 |
| sivu-uoma | 2711 | HQ1/100 | 0,24 | 36,44 | 0,43 | 36,74 | 0,25 | 36,48 | 0,45 | 36,76 | 0,45 | 36,67 | 0,54 | 36,84 |

Liite 3 Vedenkorkeudet (7/13)

| | | | Nykytilanne | | Kaupungistuminen | | Ilmastomuutos | | Kaupungistuminen ja ilmastomuutos | | Kaupungistuminen, ilmastomuutos ja altaat | | Herkkyysanalyysi +20% | |
|-----------|---------------|---------|----------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|---|---------------|-----------------------|---------------|
| Reach | River Station | Profile | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) |
| sivu-uoma | 2690 | HQ1/1 | 0,1 | 36,04 | 0,17 | 36,2 | 0,1 | 36,05 | 0,18 | 36,23 | 0,18 | 36,14 | 0,22 | 36,35 |
| sivu-uoma | 2690 | HQ1/5 | 0,13 | 36,12 | 0,24 | 36,43 | 0,14 | 36,13 | 0,25 | 36,48 | 0,25 | 36,29 | 0,3 | 36,59 |
| sivu-uoma | 2690 | HQ1/10 | 0,15 | 36,16 | 0,27 | 36,53 | 0,16 | 36,18 | 0,29 | 36,56 | 0,29 | 36,4 | 0,35 | 36,65 |
| sivu-uoma | 2690 | HQ1/20 | 0,18 | 36,23 | 0,33 | 36,62 | 0,19 | 36,26 | 0,34 | 36,64 | 0,34 | 36,53 | 0,41 | 36,72 |
| sivu-uoma | 2690 | HQ1/50 | 0,21 | 36,33 | 0,38 | 36,68 | 0,22 | 36,37 | 0,4 | 36,7 | 0,4 | 36,61 | 0,48 | 36,78 |
| sivu-uoma | 2690 | HQ1/100 | 0,24 | 36,44 | 0,43 | 36,73 | 0,25 | 36,48 | 0,45 | 36,76 | 0,45 | 36,67 | 0,54 | 36,84 |
| itahaara | 2624 | HQ1/1 | 0,34 | 36,03 | 0,61 | 36,19 | 0,36 | 36,04 | 0,64 | 36,21 | 0,51 | 36,13 | 0,77 | 36,34 |
| itahaara | 2624 | HQ1/5 | 0,48 | 36,11 | 0,85 | 36,42 | 0,51 | 36,12 | 0,9 | 36,47 | 0,72 | 36,28 | 1,08 | 36,58 |
| itahaara | 2624 | HQ1/10 | 0,54 | 36,14 | 0,97 | 36,52 | 0,58 | 36,17 | 1,03 | 36,55 | 0,82 | 36,4 | 1,24 | 36,64 |
| itahaara | 2624 | HQ1/20 | 0,65 | 36,22 | 1,15 | 36,61 | 0,69 | 36,25 | 1,22 | 36,63 | 0,98 | 36,52 | 1,45 | 36,71 |
| itahaara | 2624 | HQ1/50 | 0,75 | 36,31 | 1,34 | 36,67 | 0,8 | 36,36 | 1,41 | 36,69 | 1,13 | 36,6 | 1,65 | 36,77 |
| itahaara | 2624 | HQ1/100 | 0,85 | 36,43 | 1,5 | 36,72 | 0,9 | 36,47 | 1,58 | 36,74 | 1,29 | 36,65 | 1,86 | 36,82 |
| itahaara | 2563 | HQ1/1 | 0,34 | 35,75 | 0,61 | 36,03 | 0,36 | 35,76 | 0,64 | 36,08 | 0,51 | 35,91 | 0,77 | 36,25 |
| itahaara | 2563 | HQ1/5 | 0,48 | 35,87 | 0,85 | 36,36 | 0,51 | 35,9 | 0,9 | 36,41 | 0,72 | 36,18 | 1,08 | 36,52 |
| itahaara | 2563 | HQ1/10 | 0,54 | 35,95 | 0,97 | 36,46 | 0,58 | 35,99 | 1,03 | 36,5 | 0,82 | 36,33 | 1,24 | 36,58 |
| itahaara | 2563 | HQ1/20 | 0,65 | 36,08 | 1,15 | 36,55 | 0,69 | 36,13 | 1,22 | 36,57 | 0,98 | 36,47 | 1,45 | 36,65 |
| itahaara | 2563 | HQ1/50 | 0,75 | 36,22 | 1,34 | 36,61 | 0,8 | 36,29 | 1,41 | 36,63 | 1,13 | 36,54 | 1,65 | 36,7 |
| itahaara | 2563 | HQ1/100 | 0,85 | 36,36 | 1,5 | 36,66 | 0,9 | 36,41 | 1,58 | 36,68 | 1,29 | 36,6 | 1,86 | 36,75 |
| itahaara | 2558 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| itahaara | 2483 | HQ1/1 | 0,34 | 35,66 | 0,61 | 35,82 | 0,36 | 35,67 | 0,64 | 35,84 | 0,51 | 35,77 | 0,77 | 35,9 |
| itahaara | 2483 | HQ1/5 | 0,48 | 35,74 | 0,85 | 35,93 | 0,51 | 35,76 | 0,9 | 35,95 | 0,72 | 35,87 | 1,08 | 36,03 |
| itahaara | 2483 | HQ1/10 | 0,54 | 35,78 | 0,97 | 35,98 | 0,58 | 35,8 | 1,03 | 36,01 | 0,82 | 35,92 | 1,24 | 36,09 |
| itahaara | 2483 | HQ1/20 | 0,65 | 35,84 | 1,15 | 36,05 | 0,69 | 35,86 | 1,22 | 36,08 | 0,98 | 35,99 | 1,45 | 36,16 |
| itahaara | 2483 | HQ1/50 | 0,75 | 35,89 | 1,34 | 36,12 | 0,8 | 35,91 | 1,41 | 36,15 | 1,13 | 36,05 | 1,65 | 36,24 |
| itahaara | 2483 | HQ1/100 | 0,85 | 35,93 | 1,5 | 36,18 | 0,9 | 35,96 | 1,58 | 36,21 | 1,29 | 36,1 | 1,86 | 36,3 |
| itahaara | 2403 | HQ1/1 | 0,34 | 35,43 | 0,61 | 35,59 | 0,36 | 35,44 | 0,64 | 35,61 | 0,51 | 35,54 | 0,77 | 35,68 |
| itahaara | 2403 | HQ1/5 | 0,48 | 35,52 | 0,85 | 35,71 | 0,51 | 35,54 | 0,9 | 35,74 | 0,72 | 35,65 | 1,08 | 35,81 |
| itahaara | 2403 | HQ1/10 | 0,54 | 35,56 | 0,97 | 35,77 | 0,58 | 35,58 | 1,03 | 35,79 | 0,82 | 35,7 | 1,24 | 35,88 |
| itahaara | 2403 | HQ1/20 | 0,65 | 35,62 | 1,15 | 35,84 | 0,69 | 35,63 | 1,22 | 35,87 | 0,98 | 35,77 | 1,45 | 35,96 |
| itahaara | 2403 | HQ1/50 | 0,75 | 35,67 | 1,34 | 35,92 | 0,8 | 35,69 | 1,41 | 35,94 | 1,13 | 35,83 | 1,65 | 36,04 |
| itahaara | 2403 | HQ1/100 | 0,85 | 35,71 | 1,5 | 35,98 | 0,9 | 35,74 | 1,58 | 36,01 | 1,29 | 35,9 | 1,86 | 36,11 |
| itahaara | 2299 | HQ1/1 | 0,34 | 35,23 | 0,61 | 35,4 | 0,36 | 35,24 | 0,64 | 35,41 | 0,51 | 35,34 | 0,77 | 35,48 |
| itahaara | 2299 | HQ1/5 | 0,48 | 35,32 | 0,85 | 35,51 | 0,51 | 35,34 | 0,9 | 35,53 | 0,72 | 35,45 | 1,08 | 35,61 |
| itahaara | 2299 | HQ1/10 | 0,54 | 35,36 | 0,97 | 35,57 | 0,58 | 35,38 | 1,03 | 35,59 | 0,82 | 35,5 | 1,24 | 35,68 |
| itahaara | 2299 | HQ1/20 | 0,65 | 35,42 | 1,15 | 35,64 | 0,69 | 35,44 | 1,22 | 35,67 | 0,98 | 35,57 | 1,45 | 35,76 |
| itahaara | 2299 | HQ1/50 | 0,75 | 35,47 | 1,34 | 35,72 | 0,8 | 35,49 | 1,41 | 35,75 | 1,13 | 35,63 | 1,65 | 35,84 |
| itahaara | 2299 | HQ1/100 | 0,85 | 35,51 | 1,5 | 35,78 | 0,9 | 35,54 | 1,58 | 35,81 | 1,29 | 35,7 | 1,86 | 35,92 |
| itahaara | 2186 | HQ1/1 | 0,34 | 35,03 | 0,61 | 35,2 | 0,36 | 35,04 | 0,64 | 35,21 | 0,51 | 35,15 | 0,77 | 35,26 |
| itahaara | 2186 | HQ1/5 | 0,48 | 35,12 | 0,85 | 35,29 | 0,51 | 35,15 | 0,9 | 35,31 | 0,72 | 35,24 | 1,08 | 35,37 |
| itahaara | 2186 | HQ1/10 | 0,54 | 35,17 | 0,97 | 35,33 | 0,58 | 35,18 | 1,03 | 35,35 | 0,82 | 35,28 | 1,24 | 35,43 |
| itahaara | 2186 | HQ1/20 | 0,65 | 35,21 | 1,15 | 35,4 | 0,69 | 35,23 | 1,22 | 35,42 | 0,98 | 35,34 | 1,45 | 35,51 |
| itahaara | 2186 | HQ1/50 | 0,75 | 35,25 | 1,34 | 35,46 | 0,8 | 35,27 | 1,41 | 35,49 | 1,13 | 35,39 | 1,65 | 35,58 |
| itahaara | 2186 | HQ1/100 | 0,85 | 35,29 | 1,5 | 35,52 | 0,9 | 35,31 | 1,58 | 35,55 | 1,29 | 35,45 | 1,86 | 35,64 |

Liite 3 Vedenkorkeudet (8/13)

| | | | Nykytilanne | | Kaupungistuminen | | Ilmastomuutos | | Kaupungistuminen ja ilmastomuutos | | Kaupungistuminen, ilmastomuutos ja altaat | | Herkkyysanalyysi +20% | |
|----------|---------------|---------|----------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|---|---------------|-----------------------|---------------|
| Reach | River Station | Profile | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) |
| itahaara | 2119 | HQ1/1 | 0,34 | 34,85 | 0,61 | 35,02 | 0,36 | 34,85 | 0,64 | 35,02 | 0,51 | 35 | 0,77 | 35,03 |
| itahaara | 2119 | HQ1/5 | 0,48 | 34,95 | 0,85 | 35,03 | 0,51 | 34,99 | 0,9 | 35,03 | 0,72 | 35,03 | 1,08 | 35,03 |
| itahaara | 2119 | HQ1/10 | 0,54 | 35 | 0,97 | 35,03 | 0,58 | 35,01 | 1,03 | 35,03 | 0,82 | 35,03 | 1,24 | 35,02 |
| itahaara | 2119 | HQ1/20 | 0,65 | 35,02 | 1,15 | 35,03 | 0,69 | 35,02 | 1,22 | 35,02 | 0,98 | 35,03 | 1,45 | 34,99 |
| itahaara | 2119 | HQ1/50 | 0,75 | 35,03 | 1,34 | 35,01 | 0,8 | 35,03 | 1,41 | 35 | 1,13 | 35,03 | 1,65 | 35 |
| itahaara | 2119 | HQ1/100 | 0,85 | 35,03 | 1,5 | 35 | 0,9 | 35,03 | 1,58 | 34,99 | 1,29 | 35,01 | 1,86 | 35,02 |
| itahaara | 2007 | HQ1/1 | 0,34 | 34,31 | 0,61 | 34,48 | 0,36 | 34,37 | 0,64 | 34,5 | 0,51 | 34,44 | 0,77 | 34,56 |
| itahaara | 2007 | HQ1/5 | 0,48 | 34,42 | 0,85 | 34,59 | 0,51 | 34,43 | 0,9 | 34,61 | 0,72 | 34,54 | 1,08 | 34,69 |
| itahaara | 2007 | HQ1/10 | 0,54 | 34,45 | 0,97 | 34,64 | 0,58 | 34,47 | 1,03 | 34,66 | 0,82 | 34,58 | 1,24 | 34,75 |
| itahaara | 2007 | HQ1/20 | 0,65 | 34,5 | 1,15 | 34,72 | 0,69 | 34,52 | 1,22 | 34,74 | 0,98 | 34,64 | 1,45 | 34,84 |
| itahaara | 2007 | HQ1/50 | 0,75 | 34,55 | 1,34 | 34,79 | 0,8 | 34,57 | 1,41 | 34,82 | 1,13 | 34,7 | 1,65 | 34,91 |
| itahaara | 2007 | HQ1/100 | 0,85 | 34,59 | 1,5 | 34,86 | 0,9 | 34,61 | 1,58 | 34,89 | 1,29 | 34,77 | 1,86 | 34,96 |
| itahaara | 1980 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| itahaara | 1962 | HQ1/1 | 0,34 | 34,28 | 0,61 | 34,43 | 0,36 | 34,35 | 0,64 | 34,44 | 0,51 | 34,4 | 0,77 | 34,48 |
| itahaara | 1962 | HQ1/5 | 0,48 | 34,38 | 0,85 | 34,5 | 0,51 | 34,39 | 0,9 | 34,51 | 0,72 | 34,46 | 1,08 | 34,55 |
| itahaara | 1962 | HQ1/10 | 0,54 | 34,41 | 0,97 | 34,53 | 0,58 | 34,42 | 1,03 | 34,54 | 0,82 | 34,49 | 1,24 | 34,58 |
| itahaara | 1962 | HQ1/20 | 0,65 | 34,44 | 1,15 | 34,57 | 0,69 | 34,45 | 1,22 | 34,58 | 0,98 | 34,53 | 1,45 | 34,63 |
| itahaara | 1962 | HQ1/50 | 0,75 | 34,47 | 1,34 | 34,61 | 0,8 | 34,48 | 1,41 | 34,62 | 1,13 | 34,56 | 1,65 | 34,68 |
| itahaara | 1962 | HQ1/100 | 0,85 | 34,5 | 1,5 | 34,64 | 0,9 | 34,51 | 1,58 | 34,66 | 1,29 | 34,59 | 1,86 | 34,72 |
| itahaara | 1894 | HQ1/1 | 0,34 | 34,03 | 0,61 | 34,21 | 0,36 | 34,04 | 0,64 | 34,22 | 0,51 | 34,19 | 0,77 | 34,25 |
| itahaara | 1894 | HQ1/5 | 0,48 | 34,18 | 0,85 | 34,26 | 0,51 | 34,19 | 0,9 | 34,26 | 0,72 | 34,24 | 1,08 | 34,24 |
| itahaara | 1894 | HQ1/10 | 0,54 | 34,2 | 0,97 | 34,26 | 0,58 | 34,21 | 1,03 | 34,25 | 0,82 | 34,25 | 1,24 | 34,22 |
| itahaara | 1894 | HQ1/20 | 0,65 | 34,22 | 1,15 | 34,23 | 0,69 | 34,22 | 1,22 | 34,23 | 0,98 | 34,25 | 1,45 | 34,19 |
| itahaara | 1894 | HQ1/50 | 0,75 | 34,24 | 1,34 | 34,21 | 0,8 | 34,25 | 1,41 | 34,2 | 1,13 | 34,22 | 1,65 | 34,15 |
| itahaara | 1894 | HQ1/100 | 0,85 | 34,26 | 1,5 | 34,18 | 0,9 | 34,26 | 1,58 | 34,17 | 1,29 | 34,2 | 1,86 | 34,16 |
| itahaara | 1775 | HQ1/1 | 0,42 | 33,64 | 0,74 | 33,8 | 0,44 | 33,65 | 0,78 | 33,82 | 0,65 | 33,78 | 0,94 | 33,86 |
| itahaara | 1775 | HQ1/5 | 0,58 | 33,75 | 1,04 | 33,87 | 0,62 | 33,76 | 1,1 | 33,88 | 0,92 | 33,85 | 1,32 | 33,92 |
| itahaara | 1775 | HQ1/10 | 0,66 | 33,78 | 1,18 | 33,9 | 0,7 | 33,8 | 1,25 | 33,91 | 1,05 | 33,88 | 1,5 | 33,94 |
| itahaara | 1775 | HQ1/20 | 0,79 | 33,82 | 1,4 | 33,93 | 0,84 | 33,83 | 1,49 | 33,94 | 1,24 | 33,91 | 1,77 | 33,98 |
| itahaara | 1775 | HQ1/50 | 0,91 | 33,85 | 1,63 | 33,96 | 0,97 | 33,86 | 1,71 | 33,97 | 1,44 | 33,93 | 2,03 | 34,02 |
| itahaara | 1775 | HQ1/100 | 1,04 | 33,88 | 1,83 | 33,99 | 1,1 | 33,88 | 1,93 | 34 | 1,64 | 33,96 | 2,28 | 34,05 |
| itahaara | 1751 | | Bridge | | Bridge | | Bridge | | Bridge | | Bridge | | Bridge | |
| itahaara | 1717 | HQ1/1 | 0,42 | 33,39 | 0,74 | 33,53 | 0,44 | 33,4 | 0,78 | 33,55 | 0,65 | 33,5 | 0,94 | 33,59 |
| itahaara | 1717 | HQ1/5 | 0,58 | 33,46 | 1,04 | 33,62 | 0,62 | 33,48 | 1,1 | 33,63 | 0,92 | 33,59 | 1,32 | 33,68 |
| itahaara | 1717 | HQ1/10 | 0,66 | 33,5 | 1,18 | 33,65 | 0,7 | 33,52 | 1,25 | 33,67 | 1,05 | 33,62 | 1,5 | 33,72 |
| itahaara | 1717 | HQ1/20 | 0,79 | 33,55 | 1,4 | 33,7 | 0,84 | 33,56 | 1,49 | 33,71 | 1,24 | 33,67 | 1,77 | 33,76 |
| itahaara | 1717 | HQ1/50 | 0,91 | 33,59 | 1,63 | 33,74 | 0,97 | 33,6 | 1,71 | 33,75 | 1,44 | 33,7 | 2,03 | 33,79 |
| itahaara | 1717 | HQ1/100 | 1,04 | 33,62 | 1,83 | 33,77 | 1,1 | 33,63 | 1,93 | 33,78 | 1,64 | 33,74 | 2,28 | 33,83 |
| itahaara | 1695 | HQ1/1 | 0,42 | 33,06 | 0,74 | 33,15 | 0,44 | 33,07 | 0,78 | 33,17 | 0,65 | 33,13 | 0,94 | 33,2 |
| itahaara | 1695 | HQ1/5 | 0,58 | 33,11 | 1,04 | 33,22 | 0,62 | 33,12 | 1,1 | 33,23 | 0,92 | 33,2 | 1,32 | 33,27 |
| itahaara | 1695 | HQ1/10 | 0,66 | 33,14 | 1,18 | 33,25 | 0,7 | 33,15 | 1,25 | 33,26 | 1,05 | 33,22 | 1,5 | 33,3 |
| itahaara | 1695 | HQ1/20 | 0,79 | 33,17 | 1,4 | 33,29 | 0,84 | 33,18 | 1,49 | 33,3 | 1,24 | 33,26 | 1,77 | 33,34 |
| itahaara | 1695 | HQ1/50 | 0,91 | 33,19 | 1,63 | 33,32 | 0,97 | 33,21 | 1,71 | 33,33 | 1,44 | 33,29 | 2,03 | 33,38 |
| itahaara | 1695 | HQ1/100 | 1,04 | 33,22 | 1,83 | 33,35 | 1,1 | 33,23 | 1,93 | 33,36 | 1,64 | 33,32 | 2,28 | 33,41 |

Liite 3 Vedenkorkeudet (9/13)

| | | | Nykytilanne | | Kaupungistuminen | | Ilmastomuutos | | Kaupungistuminen ja ilmastomuutos | | Kaupungistuminen, ilmastomuutos ja altaat | | Herkkyysanalyysi +20% | |
|----------|---------------|---------|----------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|---|---------------|-----------------------|---------------|
| Reach | River Station | Profile | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) |
| itahaara | 1675 | HQ1/1 | 0,42 | 32,39 | 0,74 | 32,47 | 0,44 | 32,4 | 0,78 | 32,48 | 0,65 | 32,45 | 0,94 | 32,51 |
| itahaara | 1675 | HQ1/5 | 0,58 | 32,43 | 1,04 | 32,52 | 0,62 | 32,44 | 1,1 | 32,53 | 0,92 | 32,5 | 1,32 | 32,57 |
| itahaara | 1675 | HQ1/10 | 0,66 | 32,45 | 1,18 | 32,55 | 0,7 | 32,46 | 1,25 | 32,56 | 1,05 | 32,52 | 1,5 | 32,6 |
| itahaara | 1675 | HQ1/20 | 0,79 | 32,48 | 1,4 | 32,58 | 0,84 | 32,49 | 1,49 | 32,59 | 1,24 | 32,56 | 1,77 | 32,63 |
| itahaara | 1675 | HQ1/50 | 0,91 | 32,5 | 1,63 | 32,61 | 0,97 | 32,51 | 1,71 | 32,63 | 1,44 | 32,59 | 2,03 | 32,67 |
| itahaara | 1675 | HQ1/100 | 1,04 | 32,52 | 1,83 | 32,64 | 1,1 | 32,53 | 1,93 | 32,65 | 1,64 | 32,62 | 2,28 | 32,7 |
| itahaara | 1613 | HQ1/1 | 0,42 | 28,8 | 0,74 | 28,93 | 0,44 | 28,81 | 0,78 | 28,95 | 0,65 | 28,89 | 0,94 | 28,99 |
| itahaara | 1613 | HQ1/5 | 0,58 | 28,86 | 1,04 | 29,01 | 0,62 | 28,88 | 1,1 | 29,02 | 0,92 | 28,98 | 1,32 | 29,05 |
| itahaara | 1613 | HQ1/10 | 0,66 | 28,89 | 1,18 | 29,03 | 0,7 | 28,91 | 1,25 | 29,04 | 1,05 | 29,01 | 1,5 | 29,07 |
| itahaara | 1613 | HQ1/20 | 0,79 | 28,95 | 1,4 | 29,06 | 0,84 | 28,96 | 1,49 | 29,07 | 1,24 | 29,04 | 1,77 | 29,1 |
| itahaara | 1613 | HQ1/50 | 0,91 | 28,98 | 1,63 | 29,08 | 0,97 | 29 | 1,71 | 29,09 | 1,44 | 29,07 | 2,03 | 29,12 |
| itahaara | 1613 | HQ1/100 | 1,04 | 29,01 | 1,83 | 29,1 | 1,1 | 29,02 | 1,93 | 29,11 | 1,64 | 29,09 | 2,28 | 29,15 |
| itahaara | 1558 | HQ1/1 | 0,42 | 28,48 | 0,74 | 28,63 | 0,44 | 28,49 | 0,78 | 28,65 | 0,65 | 28,58 | 0,94 | 28,71 |
| itahaara | 1558 | HQ1/5 | 0,58 | 28,55 | 1,04 | 28,75 | 0,62 | 28,56 | 1,1 | 28,77 | 0,92 | 28,7 | 1,32 | 28,83 |
| itahaara | 1558 | HQ1/10 | 0,66 | 28,58 | 1,18 | 28,8 | 0,7 | 28,61 | 1,25 | 28,82 | 1,05 | 28,75 | 1,5 | 28,87 |
| itahaara | 1558 | HQ1/20 | 0,79 | 28,66 | 1,4 | 28,85 | 0,84 | 28,67 | 1,49 | 28,87 | 1,24 | 28,81 | 1,77 | 28,93 |
| itahaara | 1558 | HQ1/50 | 0,91 | 28,7 | 1,63 | 28,9 | 0,97 | 28,72 | 1,71 | 28,92 | 1,44 | 28,86 | 2,03 | 28,97 |
| itahaara | 1558 | HQ1/100 | 1,04 | 28,75 | 1,83 | 28,94 | 1,1 | 28,77 | 1,93 | 28,95 | 1,64 | 28,9 | 2,28 | 29,02 |
| itahaara | 1498 | HQ1/1 | 0,42 | 28,16 | 0,74 | 28,37 | 0,44 | 28,18 | 0,78 | 28,39 | 0,65 | 28,32 | 0,94 | 28,48 |
| itahaara | 1498 | HQ1/5 | 0,58 | 28,27 | 1,04 | 28,53 | 0,62 | 28,29 | 1,1 | 28,57 | 0,92 | 28,47 | 1,32 | 28,65 |
| itahaara | 1498 | HQ1/10 | 0,66 | 28,32 | 1,18 | 28,61 | 0,7 | 28,35 | 1,25 | 28,63 | 1,05 | 28,54 | 1,5 | 28,7 |
| itahaara | 1498 | HQ1/20 | 0,79 | 28,4 | 1,4 | 28,67 | 0,84 | 28,42 | 1,49 | 28,69 | 1,24 | 28,63 | 1,77 | 28,76 |
| itahaara | 1498 | HQ1/50 | 0,91 | 28,47 | 1,63 | 28,72 | 0,97 | 28,5 | 1,71 | 28,74 | 1,44 | 28,68 | 2,03 | 28,81 |
| itahaara | 1498 | HQ1/100 | 1,04 | 28,53 | 1,83 | 28,77 | 1,1 | 28,57 | 1,93 | 28,79 | 1,64 | 28,73 | 2,28 | 28,86 |
| itahaara | 1462 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| itahaara | 1426 | HQ1/1 | 0,42 | 27,98 | 0,74 | 28,05 | 0,44 | 27,99 | 0,78 | 28,06 | 0,65 | 28,04 | 0,94 | 28,05 |
| itahaara | 1426 | HQ1/5 | 0,58 | 28,02 | 1,04 | 28,07 | 0,62 | 28,03 | 1,1 | 28,08 | 0,92 | 28,05 | 1,32 | 28,16 |
| itahaara | 1426 | HQ1/10 | 0,66 | 28,04 | 1,18 | 28,11 | 0,7 | 28,05 | 1,25 | 28,14 | 1,05 | 28,07 | 1,5 | 28,23 |
| itahaara | 1426 | HQ1/20 | 0,79 | 28,06 | 1,4 | 28,19 | 0,84 | 28,06 | 1,49 | 28,23 | 1,24 | 28,13 | 1,77 | 28,34 |
| itahaara | 1426 | HQ1/50 | 0,91 | 28,05 | 1,63 | 28,28 | 0,97 | 28,06 | 1,71 | 28,31 | 1,44 | 28,21 | 2,03 | 28,4 |
| itahaara | 1426 | HQ1/100 | 1,04 | 28,07 | 1,83 | 28,35 | 1,1 | 28,09 | 1,93 | 28,38 | 1,64 | 28,28 | 2,28 | 28,44 |
| itahaara | 1402 | HQ1/1 | 0,42 | 27,64 | 0,74 | 27,78 | 0,44 | 27,65 | 0,78 | 27,81 | 0,65 | 27,71 | 0,94 | 27,96 |
| itahaara | 1402 | HQ1/5 | 0,58 | 27,69 | 1,04 | 28 | 0,62 | 27,7 | 1,1 | 28,03 | 0,92 | 27,94 | 1,32 | 28,14 |
| itahaara | 1402 | HQ1/10 | 0,66 | 27,71 | 1,18 | 28,07 | 0,7 | 27,72 | 1,25 | 28,11 | 1,05 | 28,01 | 1,5 | 28,22 |
| itahaara | 1402 | HQ1/20 | 0,79 | 27,82 | 1,4 | 28,17 | 0,84 | 27,88 | 1,49 | 28,21 | 1,24 | 28,1 | 1,77 | 28,33 |
| itahaara | 1402 | HQ1/50 | 0,91 | 27,93 | 1,63 | 28,27 | 0,97 | 27,97 | 1,71 | 28,31 | 1,44 | 28,19 | 2,03 | 28,4 |
| itahaara | 1402 | HQ1/100 | 1,04 | 28,01 | 1,83 | 28,35 | 1,1 | 28,04 | 1,93 | 28,38 | 1,64 | 28,27 | 2,28 | 28,44 |
| itahaara | 1393 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| itahaara | 1371 | HQ1/1 | 0,42 | 27,59 | 0,74 | 27,69 | 0,44 | 27,6 | 0,78 | 27,7 | 0,65 | 27,67 | 0,94 | 27,73 |
| itahaara | 1371 | HQ1/5 | 0,58 | 27,65 | 1,04 | 27,75 | 0,62 | 27,66 | 1,1 | 27,76 | 0,92 | 27,73 | 1,32 | 27,79 |
| itahaara | 1371 | HQ1/10 | 0,66 | 27,67 | 1,18 | 27,77 | 0,7 | 27,68 | 1,25 | 27,78 | 1,05 | 27,75 | 1,5 | 27,82 |
| itahaara | 1371 | HQ1/20 | 0,79 | 27,7 | 1,4 | 27,8 | 0,84 | 27,71 | 1,49 | 27,82 | 1,24 | 27,78 | 1,77 | 27,85 |
| itahaara | 1371 | HQ1/50 | 0,91 | 27,73 | 1,63 | 27,83 | 0,97 | 27,74 | 1,71 | 27,84 | 1,44 | 27,81 | 2,03 | 27,88 |
| itahaara | 1371 | HQ1/100 | 1,04 | 27,75 | 1,83 | 27,86 | 1,1 | 27,76 | 1,93 | 27,87 | 1,64 | 27,83 | 2,28 | 27,9 |

Liite 3 Vedenkorkeudet (10/13)

| | | | Nykytilanne | | Kaupungistuminen | | Ilmastomuutos | | Kaupungistuminen ja ilmastomuutos | | Kaupungistuminen, ilmastomuutos ja altaat | | Herkkyysanalyysi +20% | |
|----------|---------------|---------|----------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|---|---------------|-----------------------|---------------|
| Reach | River Station | Profile | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) |
| itahaara | 1344 | HQ1/1 | 0,42 | 27,5 | 0,74 | 27,61 | 0,44 | 27,51 | 0,78 | 27,62 | 0,65 | 27,58 | 0,94 | 27,66 |
| itahaara | 1344 | HQ1/5 | 0,58 | 27,56 | 1,04 | 27,68 | 0,62 | 27,57 | 1,1 | 27,69 | 0,92 | 27,66 | 1,32 | 27,72 |
| itahaara | 1344 | HQ1/10 | 0,66 | 27,59 | 1,18 | 27,7 | 0,7 | 27,6 | 1,25 | 27,71 | 1,05 | 27,68 | 1,5 | 27,74 |
| itahaara | 1344 | HQ1/20 | 0,79 | 27,62 | 1,4 | 27,73 | 0,84 | 27,64 | 1,49 | 27,74 | 1,24 | 27,71 | 1,77 | 27,77 |
| itahaara | 1344 | HQ1/50 | 0,91 | 27,65 | 1,63 | 27,76 | 0,97 | 27,67 | 1,71 | 27,77 | 1,44 | 27,74 | 2,03 | 27,8 |
| itahaara | 1344 | HQ1/100 | 1,04 | 27,68 | 1,83 | 27,78 | 1,1 | 27,69 | 1,93 | 27,79 | 1,64 | 27,76 | 2,28 | 27,82 |
| itahaara | 1292 | HQ1/1 | 0,42 | 27,09 | 0,74 | 27,22 | 0,44 | 27,1 | 0,78 | 27,24 | 0,65 | 27,18 | 0,94 | 27,33 |
| itahaara | 1292 | HQ1/5 | 0,58 | 27,15 | 1,04 | 27,36 | 0,62 | 27,17 | 1,1 | 27,38 | 0,92 | 27,32 | 1,32 | 27,43 |
| itahaara | 1292 | HQ1/10 | 0,66 | 27,18 | 1,18 | 27,4 | 0,7 | 27,2 | 1,25 | 27,42 | 1,05 | 27,37 | 1,5 | 27,46 |
| itahaara | 1292 | HQ1/20 | 0,79 | 27,24 | 1,4 | 27,45 | 0,84 | 27,29 | 1,49 | 27,46 | 1,24 | 27,42 | 1,77 | 27,51 |
| itahaara | 1292 | HQ1/50 | 0,91 | 27,32 | 1,63 | 27,48 | 0,97 | 27,34 | 1,71 | 27,5 | 1,44 | 27,46 | 2,03 | 27,56 |
| itahaara | 1292 | HQ1/100 | 1,04 | 27,36 | 1,83 | 27,52 | 1,1 | 27,38 | 1,93 | 27,54 | 1,64 | 27,49 | 2,28 | 27,61 |
| itahaara | 1243 | HQ1/1 | 0,46 | 26,53 | 0,84 | 26,7 | 0,5 | 26,55 | 0,89 | 26,72 | 0,76 | 26,67 | 1,07 | 26,78 |
| itahaara | 1243 | HQ1/5 | 0,65 | 26,62 | 1,18 | 26,82 | 0,7 | 26,64 | 1,25 | 26,85 | 1,07 | 26,78 | 1,5 | 26,93 |
| itahaara | 1243 | HQ1/10 | 0,74 | 26,66 | 1,35 | 26,88 | 0,8 | 26,69 | 1,43 | 26,9 | 1,22 | 26,84 | 1,71 | 26,99 |
| itahaara | 1243 | HQ1/20 | 0,89 | 26,72 | 1,6 | 26,96 | 0,95 | 26,74 | 1,7 | 26,99 | 1,45 | 26,91 | 2,02 | 27,09 |
| itahaara | 1243 | HQ1/50 | 1,02 | 26,77 | 1,85 | 27,03 | 1,1 | 26,8 | 1,95 | 27,07 | 1,68 | 26,98 | 2,31 | 27,17 |
| itahaara | 1243 | HQ1/100 | 1,16 | 26,82 | 2,08 | 27,1 | 1,25 | 26,85 | 2,2 | 27,14 | 1,91 | 27,05 | 2,61 | 27,27 |
| itahaara | 1236 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| itahaara | 1194 | HQ1/1 | 0,46 | 26,53 | 0,84 | 26,69 | 0,5 | 26,55 | 0,89 | 26,71 | 0,76 | 26,66 | 1,07 | 26,78 |
| itahaara | 1194 | HQ1/5 | 0,65 | 26,61 | 1,18 | 26,81 | 0,7 | 26,64 | 1,25 | 26,84 | 1,07 | 26,78 | 1,5 | 26,91 |
| itahaara | 1194 | HQ1/10 | 0,74 | 26,65 | 1,35 | 26,87 | 0,8 | 26,68 | 1,43 | 26,89 | 1,22 | 26,83 | 1,71 | 26,97 |
| itahaara | 1194 | HQ1/20 | 0,89 | 26,71 | 1,6 | 26,94 | 0,95 | 26,74 | 1,7 | 26,97 | 1,45 | 26,9 | 2,02 | 27,05 |
| itahaara | 1194 | HQ1/50 | 1,02 | 26,76 | 1,85 | 27,01 | 1,1 | 26,79 | 1,95 | 27,04 | 1,68 | 26,96 | 2,31 | 27,12 |
| itahaara | 1194 | HQ1/100 | 1,16 | 26,81 | 2,08 | 27,07 | 1,25 | 26,84 | 2,2 | 27,1 | 1,91 | 27,02 | 2,61 | 27,19 |
| itahaara | 1167 | HQ1/1 | 0,46 | 26,5 | 0,84 | 26,66 | 0,5 | 26,52 | 0,89 | 26,68 | 0,76 | 26,63 | 1,07 | 26,74 |
| itahaara | 1167 | HQ1/5 | 0,65 | 26,59 | 1,18 | 26,77 | 0,7 | 26,61 | 1,25 | 26,79 | 1,07 | 26,74 | 1,5 | 26,86 |
| itahaara | 1167 | HQ1/10 | 0,74 | 26,62 | 1,35 | 26,82 | 0,8 | 26,65 | 1,43 | 26,84 | 1,22 | 26,79 | 1,71 | 26,92 |
| itahaara | 1167 | HQ1/20 | 0,89 | 26,68 | 1,6 | 26,89 | 0,95 | 26,7 | 1,7 | 26,92 | 1,45 | 26,85 | 2,02 | 27 |
| itahaara | 1167 | HQ1/50 | 1,02 | 26,72 | 1,85 | 26,96 | 1,1 | 26,75 | 1,95 | 26,98 | 1,68 | 26,91 | 2,31 | 27,06 |
| itahaara | 1167 | HQ1/100 | 1,16 | 26,77 | 2,08 | 27,01 | 1,25 | 26,79 | 2,2 | 27,04 | 1,91 | 26,97 | 2,61 | 27,13 |
| itahaara | 1140 | HQ1/1 | 0,46 | 26,35 | 0,84 | 26,44 | 0,5 | 26,36 | 0,89 | 26,45 | 0,76 | 26,42 | 1,07 | 26,48 |
| itahaara | 1140 | HQ1/5 | 0,65 | 26,4 | 1,18 | 26,5 | 0,7 | 26,41 | 1,25 | 26,52 | 1,07 | 26,48 | 1,5 | 26,56 |
| itahaara | 1140 | HQ1/10 | 0,74 | 26,42 | 1,35 | 26,53 | 0,8 | 26,43 | 1,43 | 26,55 | 1,22 | 26,51 | 1,71 | 26,59 |
| itahaara | 1140 | HQ1/20 | 0,89 | 26,45 | 1,6 | 26,57 | 0,95 | 26,46 | 1,7 | 26,59 | 1,45 | 26,55 | 2,02 | 26,63 |
| itahaara | 1140 | HQ1/50 | 1,02 | 26,55 | 1,85 | 26,61 | 1,1 | 26,49 | 1,95 | 26,62 | 1,68 | 26,58 | 2,31 | 26,67 |
| itahaara | 1140 | HQ1/100 | 1,16 | 26,6 | 2,08 | 26,64 | 1,25 | 26,52 | 2,2 | 26,66 | 1,91 | 26,62 | 2,61 | 26,71 |
| itahaara | 1108 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| itahaara | 1069 | HQ1/1 | 0,46 | 26,05 | 0,84 | 26,23 | 0,5 | 26,09 | 0,89 | 26,24 | 0,76 | 26,2 | 1,07 | 26,3 |
| itahaara | 1069 | HQ1/5 | 0,65 | 26,16 | 1,18 | 26,32 | 0,7 | 26,18 | 1,25 | 26,33 | 1,07 | 26,3 | 1,5 | 26,37 |
| itahaara | 1069 | HQ1/10 | 0,74 | 26,2 | 1,35 | 26,35 | 0,8 | 26,22 | 1,43 | 26,36 | 1,22 | 26,33 | 1,71 | 26,4 |
| itahaara | 1069 | HQ1/20 | 0,89 | 26,26 | 1,6 | 26,39 | 0,95 | 26,28 | 1,7 | 26,4 | 1,45 | 26,37 | 2,02 | 26,45 |
| itahaara | 1069 | HQ1/50 | 1,02 | 26,38 | 1,85 | 26,42 | 1,1 | 26,31 | 1,95 | 26,44 | 1,68 | 26,4 | 2,31 | 26,49 |
| itahaara | 1069 | HQ1/100 | 1,16 | 26,42 | 2,08 | 26,45 | 1,25 | 26,33 | 2,2 | 26,47 | 1,91 | 26,43 | 2,61 | 26,54 |

Liite 3 Vedenkorkeudet (11/13)

| | | | Nykytilanne | | Kaupungistuminen | | Ilmastomuutos | | Kaupungistuminen ja ilmastomuutos | | Kaupungistuminen, ilmastomuutos ja altaat | | Herkkyysanalyysi +20% | |
|----------|---------------|---------|----------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|---|---------------|-----------------------|---------------|
| Reach | River Station | Profile | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) |
| itahaara | 1043 | HQ1/1 | 0,46 | 25,89 | 0,84 | 26,1 | 0,5 | 25,94 | 0,89 | 26,12 | 0,76 | 26,07 | 1,07 | 26,22 |
| itahaara | 1043 | HQ1/5 | 0,65 | 26,02 | 1,18 | 26,24 | 0,7 | 26,05 | 1,25 | 26,25 | 1,07 | 26,22 | 1,5 | 26,29 |
| itahaara | 1043 | HQ1/10 | 0,74 | 26,06 | 1,35 | 26,27 | 0,8 | 26,09 | 1,43 | 26,28 | 1,22 | 26,25 | 1,71 | 26,32 |
| itahaara | 1043 | HQ1/20 | 0,89 | 26,19 | 1,6 | 26,31 | 0,95 | 26,2 | 1,7 | 26,32 | 1,45 | 26,28 | 2,02 | 26,36 |
| itahaara | 1043 | HQ1/50 | 1,02 | 26,36 | 1,85 | 26,34 | 1,1 | 26,23 | 1,95 | 26,35 | 1,68 | 26,32 | 2,31 | 26,42 |
| itahaara | 1043 | HQ1/100 | 1,16 | 26,39 | 2,08 | 26,37 | 1,25 | 26,25 | 2,2 | 26,39 | 1,91 | 26,35 | 2,61 | 26,48 |
| itahaara | 977 | HQ1/1 | 0,46 | 25,72 | 0,84 | 25,9 | 0,5 | 25,74 | 0,89 | 25,92 | 0,76 | 25,86 | 1,07 | 26,04 |
| itahaara | 977 | HQ1/5 | 0,65 | 25,81 | 1,18 | 26,06 | 0,7 | 25,84 | 1,25 | 26,07 | 1,07 | 26,04 | 1,5 | 26,09 |
| itahaara | 977 | HQ1/10 | 0,74 | 25,85 | 1,35 | 26,08 | 0,8 | 25,88 | 1,43 | 26,08 | 1,22 | 26,06 | 1,71 | 26,12 |
| itahaara | 977 | HQ1/20 | 0,89 | 26,04 | 1,6 | 26,1 | 0,95 | 26,01 | 1,7 | 26,11 | 1,45 | 26,08 | 2,02 | 26,18 |
| itahaara | 977 | HQ1/50 | 1,02 | 26,33 | 1,85 | 26,14 | 1,1 | 26,04 | 1,95 | 26,17 | 1,68 | 26,11 | 2,31 | 26,28 |
| itahaara | 977 | HQ1/100 | 1,16 | 26,37 | 2,08 | 26,2 | 1,25 | 26,07 | 2,2 | 26,24 | 1,91 | 26,16 | 2,61 | 26,37 |
| itahaara | 933 | HQ1/1 | 0,46 | 25,46 | 0,84 | 25,56 | 0,5 | 25,47 | 0,89 | 25,57 | 0,76 | 25,54 | 1,07 | 25,61 |
| itahaara | 933 | HQ1/5 | 0,65 | 25,51 | 1,18 | 25,63 | 0,7 | 25,52 | 1,25 | 25,7 | 1,07 | 25,61 | 1,5 | 25,82 |
| itahaara | 933 | HQ1/10 | 0,74 | 25,53 | 1,35 | 25,71 | 0,8 | 25,55 | 1,43 | 25,78 | 1,22 | 25,7 | 1,71 | 25,92 |
| itahaara | 933 | HQ1/20 | 0,89 | 25,99 | 1,6 | 25,86 | 0,95 | 25,58 | 1,7 | 25,91 | 1,45 | 25,79 | 2,02 | 26,05 |
| itahaara | 933 | HQ1/50 | 1,02 | 26,32 | 1,85 | 25,98 | 1,1 | 25,61 | 1,95 | 26,02 | 1,68 | 25,9 | 2,31 | 26,18 |
| itahaara | 933 | HQ1/100 | 1,16 | 26,35 | 2,08 | 26,08 | 1,25 | 25,7 | 2,2 | 26,13 | 1,91 | 26 | 2,61 | 26,3 |
| itahaara | 896 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| itahaara | 864 | HQ1/1 | 0,46 | 25,31 | 0,84 | 25,45 | 0,5 | 25,29 | 0,89 | 25,47 | 0,76 | 25,41 | 1,07 | 25,55 |
| itahaara | 864 | HQ1/5 | 0,65 | 25,49 | 1,18 | 25,58 | 0,7 | 25,38 | 1,25 | 25,6 | 1,07 | 25,55 | 1,5 | 25,66 |
| itahaara | 864 | HQ1/10 | 0,74 | 25,6 | 1,35 | 25,62 | 0,8 | 25,43 | 1,43 | 25,64 | 1,22 | 25,59 | 1,71 | 25,7 |
| itahaara | 864 | HQ1/20 | 0,89 | 25,94 | 1,6 | 25,68 | 0,95 | 25,51 | 1,7 | 25,69 | 1,45 | 25,65 | 2,02 | 25,76 |
| itahaara | 864 | HQ1/50 | 1,02 | 26,28 | 1,85 | 25,73 | 1,1 | 25,56 | 1,95 | 25,74 | 1,68 | 25,69 | 2,31 | 25,83 |
| itahaara | 864 | HQ1/100 | 1,16 | 26,31 | 2,08 | 25,77 | 1,25 | 25,6 | 2,2 | 25,8 | 1,91 | 25,74 | 2,61 | 25,94 |
| itahaara | 833 | HQ1/1 | 0,46 | 25,25 | 0,84 | 25,4 | 0,5 | 25,19 | 0,89 | 25,44 | 0,76 | 25,35 | 1,07 | 25,52 |
| itahaara | 833 | HQ1/5 | 0,65 | 25,47 | 1,18 | 25,56 | 0,7 | 25,32 | 1,25 | 25,57 | 1,07 | 25,52 | 1,5 | 25,63 |
| itahaara | 833 | HQ1/10 | 0,74 | 25,59 | 1,35 | 25,6 | 0,8 | 25,38 | 1,43 | 25,62 | 1,22 | 25,57 | 1,71 | 25,68 |
| itahaara | 833 | HQ1/20 | 0,89 | 25,94 | 1,6 | 25,65 | 0,95 | 25,48 | 1,7 | 25,67 | 1,45 | 25,62 | 2,02 | 25,74 |
| itahaara | 833 | HQ1/50 | 1,02 | 26,28 | 1,85 | 25,71 | 1,1 | 25,53 | 1,95 | 25,72 | 1,68 | 25,67 | 2,31 | 25,82 |
| itahaara | 833 | HQ1/100 | 1,16 | 26,31 | 2,08 | 25,75 | 1,25 | 25,58 | 2,2 | 25,78 | 1,91 | 25,72 | 2,61 | 25,93 |
| itahaara | 824 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| itahaara | 790 | HQ1/1 | 0,46 | 25,14 | 0,84 | 25,23 | 0,5 | 25,11 | 0,89 | 25,24 | 0,76 | 25,2 | 1,07 | 25,31 |
| itahaara | 790 | HQ1/5 | 0,65 | 25,34 | 1,18 | 25,35 | 0,7 | 25,18 | 1,25 | 25,38 | 1,07 | 25,31 | 1,5 | 25,48 |
| itahaara | 790 | HQ1/10 | 0,74 | 25,54 | 1,35 | 25,42 | 0,8 | 25,21 | 1,43 | 25,45 | 1,22 | 25,37 | 1,71 | 25,57 |
| itahaara | 790 | HQ1/20 | 0,89 | 25,94 | 1,6 | 25,52 | 0,95 | 25,27 | 1,7 | 25,56 | 1,45 | 25,46 | 2,02 | 25,69 |
| itahaara | 790 | HQ1/50 | 1,02 | 26,27 | 1,85 | 25,62 | 1,1 | 25,32 | 1,95 | 25,66 | 1,68 | 25,55 | 2,31 | 25,8 |
| itahaara | 790 | HQ1/100 | 1,16 | 26,31 | 2,08 | 25,71 | 1,25 | 25,38 | 2,2 | 25,76 | 1,91 | 25,64 | 2,61 | 25,92 |
| itahaara | 739 | HQ1/1 | 0,46 | 25,09 | 0,84 | 25,16 | 0,5 | 24,98 | 0,89 | 25,18 | 0,76 | 25,12 | 1,07 | 25,27 |
| itahaara | 739 | HQ1/5 | 0,65 | 25,33 | 1,18 | 25,32 | 0,7 | 25,09 | 1,25 | 25,35 | 1,07 | 25,27 | 1,5 | 25,46 |
| itahaara | 739 | HQ1/10 | 0,74 | 25,54 | 1,35 | 25,39 | 0,8 | 25,14 | 1,43 | 25,43 | 1,22 | 25,34 | 1,71 | 25,55 |
| itahaara | 739 | HQ1/20 | 0,89 | 25,94 | 1,6 | 25,5 | 0,95 | 25,21 | 1,7 | 25,54 | 1,45 | 25,44 | 2,02 | 25,67 |
| itahaara | 739 | HQ1/50 | 1,02 | 26,27 | 1,85 | 25,61 | 1,1 | 25,28 | 1,95 | 25,65 | 1,68 | 25,53 | 2,31 | 25,79 |
| itahaara | 739 | HQ1/100 | 1,16 | 26,31 | 2,08 | 25,7 | 1,25 | 25,35 | 2,2 | 25,75 | 1,91 | 25,63 | 2,61 | 25,91 |

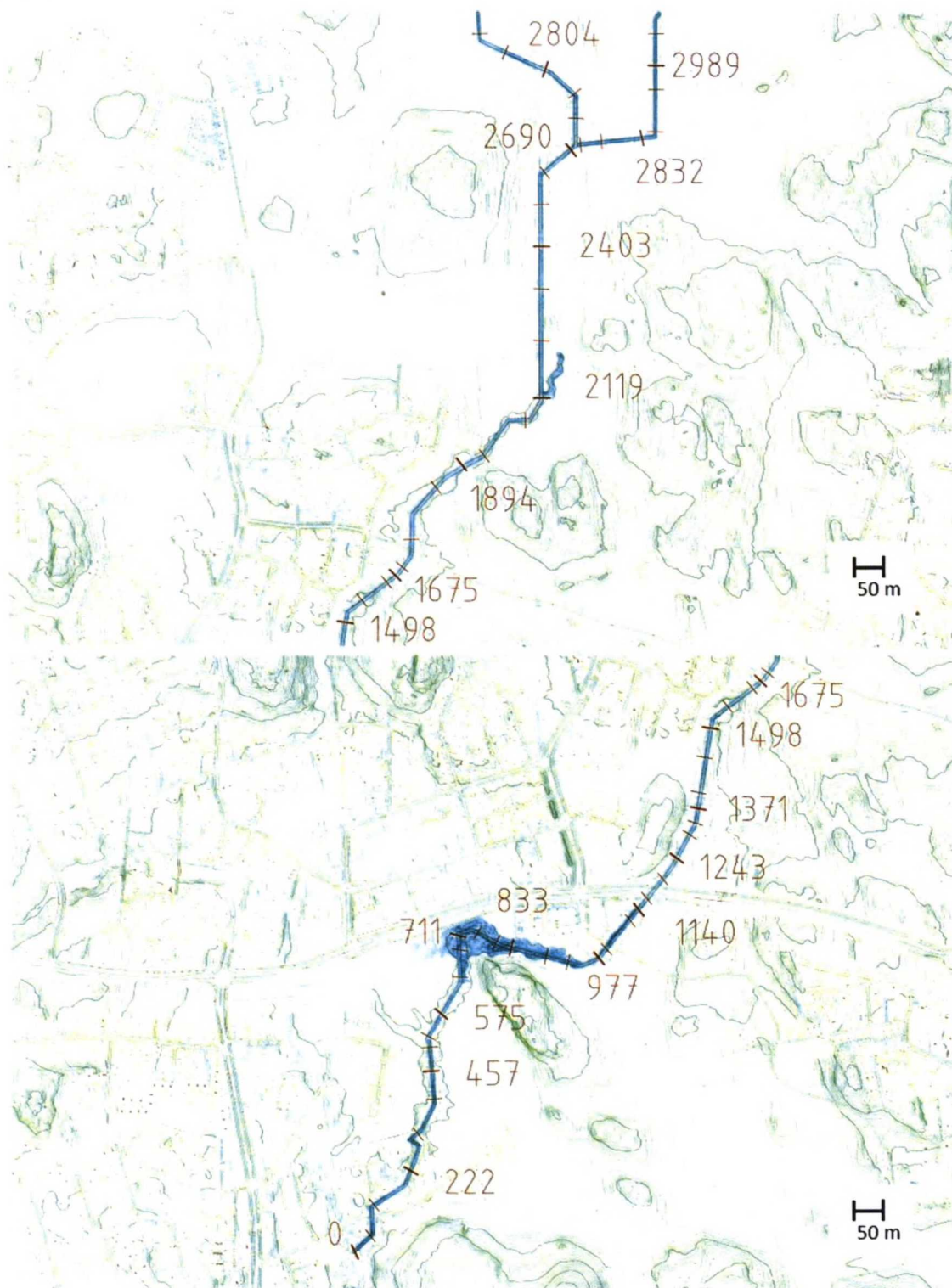
Liite 3 Vedenkorkeudet (12/13)

| | | | Nykytilanne | | Kaupungistuminen | | Ilmastomuutos | | Kaupungistuminen ja ilmastomuutos | | Kaupungistuminen, ilmastomuutos ja altaat | | Herkkyysanalyysi +20% | |
|----------|---------------|---------|----------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|---|---------------|-----------------------|---------------|
| Reach | River Station | Profile | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) |
| itahaara | 711 | HQ1/1 | 0,46 | 25,08 | 0,84 | 25,15 | 0,5 | 24,96 | 0,89 | 25,18 | 0,76 | 25,11 | 1,07 | 25,27 |
| itahaara | 711 | HQ1/5 | 0,65 | 25,33 | 1,18 | 25,32 | 0,7 | 25,08 | 1,25 | 25,35 | 1,07 | 25,26 | 1,5 | 25,46 |
| itahaara | 711 | HQ1/10 | 0,74 | 25,54 | 1,35 | 25,39 | 0,8 | 25,13 | 1,43 | 25,43 | 1,22 | 25,34 | 1,71 | 25,55 |
| itahaara | 711 | HQ1/20 | 0,89 | 25,94 | 1,6 | 25,5 | 0,95 | 25,21 | 1,7 | 25,54 | 1,45 | 25,44 | 2,02 | 25,67 |
| itahaara | 711 | HQ1/50 | 1,02 | 26,27 | 1,85 | 25,6 | 1,1 | 25,28 | 1,95 | 25,65 | 1,68 | 25,53 | 2,31 | 25,79 |
| itahaara | 711 | HQ1/100 | 1,16 | 26,31 | 2,08 | 25,7 | 1,25 | 25,35 | 2,2 | 25,75 | 1,91 | 25,63 | 2,61 | 25,91 |
| itahaara | 702 | Culvert | | | | | | | | | | | | |
| itahaara | 655 | HQ1/1 | 0,46 | 24,62 | 0,84 | 24,69 | 0,5 | 24,64 | 0,89 | 24,7 | 0,76 | 24,68 | 1,07 | 24,72 |
| itahaara | 655 | HQ1/5 | 0,65 | 24,67 | 1,18 | 24,74 | 0,7 | 24,67 | 1,25 | 24,75 | 1,07 | 24,72 | 1,5 | 24,78 |
| itahaara | 655 | HQ1/10 | 0,74 | 24,68 | 1,35 | 24,76 | 0,8 | 24,69 | 1,43 | 24,77 | 1,22 | 24,74 | 1,71 | 24,81 |
| itahaara | 655 | HQ1/20 | 0,89 | 24,7 | 1,6 | 24,79 | 0,95 | 24,71 | 1,7 | 24,81 | 1,45 | 24,77 | 2,02 | 24,85 |
| itahaara | 655 | HQ1/50 | 1,02 | 24,72 | 1,85 | 24,83 | 1,1 | 24,73 | 1,95 | 24,84 | 1,68 | 24,8 | 2,31 | 24,9 |
| itahaara | 655 | HQ1/100 | 1,16 | 24,74 | 2,08 | 24,86 | 1,25 | 24,75 | 2,2 | 24,88 | 1,91 | 24,84 | 2,61 | 24,96 |
| itahaara | 575 | HQ1/1 | 0,46 | 24,15 | 0,84 | 24,32 | 0,5 | 24,18 | 0,89 | 24,34 | 0,76 | 24,29 | 1,07 | 24,39 |
| itahaara | 575 | HQ1/5 | 0,65 | 24,25 | 1,18 | 24,42 | 0,7 | 24,27 | 1,25 | 24,44 | 1,07 | 24,39 | 1,5 | 24,51 |
| itahaara | 575 | HQ1/10 | 0,74 | 24,28 | 1,35 | 24,47 | 0,8 | 24,31 | 1,43 | 24,49 | 1,22 | 24,43 | 1,71 | 24,57 |
| itahaara | 575 | HQ1/20 | 0,89 | 24,34 | 1,6 | 24,54 | 0,95 | 24,36 | 1,7 | 24,56 | 1,45 | 24,5 | 2,02 | 24,65 |
| itahaara | 575 | HQ1/50 | 1,02 | 24,38 | 1,85 | 24,6 | 1,1 | 24,4 | 1,95 | 24,63 | 1,68 | 24,56 | 2,31 | 24,72 |
| itahaara | 575 | HQ1/100 | 1,16 | 24,42 | 2,08 | 24,67 | 1,25 | 24,44 | 2,2 | 24,69 | 1,91 | 24,62 | 2,61 | 24,8 |
| itahaara | 521 | HQ1/1 | 0,46 | 23,94 | 0,84 | 24,11 | 0,5 | 23,96 | 0,89 | 24,13 | 0,76 | 24,08 | 1,07 | 24,2 |
| itahaara | 521 | HQ1/5 | 0,65 | 24,03 | 1,18 | 24,23 | 0,7 | 24,06 | 1,25 | 24,26 | 1,07 | 24,2 | 1,5 | 24,34 |
| itahaara | 521 | HQ1/10 | 0,74 | 24,07 | 1,35 | 24,29 | 0,8 | 24,1 | 1,43 | 24,31 | 1,22 | 24,25 | 1,71 | 24,4 |
| itahaara | 521 | HQ1/20 | 0,89 | 24,13 | 1,6 | 24,37 | 0,95 | 24,16 | 1,7 | 24,4 | 1,45 | 24,32 | 2,02 | 24,49 |
| itahaara | 521 | HQ1/50 | 1,02 | 24,18 | 1,85 | 24,44 | 1,1 | 24,21 | 1,95 | 24,47 | 1,68 | 24,39 | 2,31 | 24,57 |
| itahaara | 521 | HQ1/100 | 1,16 | 24,23 | 2,08 | 24,51 | 1,25 | 24,26 | 2,2 | 24,54 | 1,91 | 24,46 | 2,61 | 24,65 |
| itahaara | 506 | HQ1/1 | 0,46 | 23,88 | 0,84 | 24,05 | 0,5 | 23,9 | 0,89 | 24,07 | 0,76 | 24,02 | 1,07 | 24,13 |
| itahaara | 506 | HQ1/5 | 0,65 | 23,97 | 1,18 | 24,17 | 0,7 | 23,99 | 1,25 | 24,19 | 1,07 | 24,13 | 1,5 | 24,27 |
| itahaara | 506 | HQ1/10 | 0,74 | 24,01 | 1,35 | 24,22 | 0,8 | 24,03 | 1,43 | 24,24 | 1,22 | 24,18 | 1,71 | 24,33 |
| itahaara | 506 | HQ1/20 | 0,89 | 24,07 | 1,6 | 24,3 | 0,95 | 24,09 | 1,7 | 24,32 | 1,45 | 24,25 | 2,02 | 24,42 |
| itahaara | 506 | HQ1/50 | 1,02 | 24,11 | 1,85 | 24,37 | 1,1 | 24,14 | 1,95 | 24,4 | 1,68 | 24,32 | 2,31 | 24,49 |
| itahaara | 506 | HQ1/100 | 1,16 | 24,16 | 2,08 | 24,43 | 1,25 | 24,19 | 2,2 | 24,46 | 1,91 | 24,39 | 2,61 | 24,57 |
| itahaara | 457 | HQ1/1 | 0,46 | 23,66 | 0,84 | 23,83 | 0,5 | 23,68 | 0,89 | 23,85 | 0,76 | 23,8 | 1,07 | 23,9 |
| itahaara | 457 | HQ1/5 | 0,65 | 23,75 | 1,18 | 23,94 | 0,7 | 23,77 | 1,25 | 23,96 | 1,07 | 23,9 | 1,5 | 24,03 |
| itahaara | 457 | HQ1/10 | 0,74 | 23,79 | 1,35 | 23,99 | 0,8 | 23,81 | 1,43 | 24,01 | 1,22 | 23,95 | 1,71 | 24,09 |
| itahaara | 457 | HQ1/20 | 0,89 | 23,85 | 1,6 | 24,06 | 0,95 | 23,87 | 1,7 | 24,08 | 1,45 | 24,02 | 2,02 | 24,16 |
| itahaara | 457 | HQ1/50 | 1,02 | 23,89 | 1,85 | 24,12 | 1,1 | 23,91 | 1,95 | 24,15 | 1,68 | 24,08 | 2,31 | 24,23 |
| itahaara | 457 | HQ1/100 | 1,16 | 23,93 | 2,08 | 24,18 | 1,25 | 23,96 | 2,2 | 24,2 | 1,91 | 24,14 | 2,61 | 24,3 |
| itahaara | 402 | HQ1/1 | 0,46 | 23,42 | 0,84 | 23,57 | 0,5 | 23,44 | 0,89 | 23,59 | 0,76 | 23,54 | 1,07 | 23,64 |
| itahaara | 402 | HQ1/5 | 0,65 | 23,5 | 1,18 | 23,67 | 0,7 | 23,52 | 1,25 | 23,7 | 1,07 | 23,64 | 1,5 | 23,76 |
| itahaara | 402 | HQ1/10 | 0,74 | 23,53 | 1,35 | 23,72 | 0,8 | 23,56 | 1,43 | 23,74 | 1,22 | 23,69 | 1,71 | 23,82 |
| itahaara | 402 | HQ1/20 | 0,89 | 23,59 | 1,6 | 23,79 | 0,95 | 23,61 | 1,7 | 23,81 | 1,45 | 23,75 | 2,02 | 23,88 |
| itahaara | 402 | HQ1/50 | 1,02 | 23,63 | 1,85 | 23,85 | 1,1 | 23,65 | 1,95 | 23,87 | 1,68 | 23,81 | 2,31 | 23,94 |
| itahaara | 402 | HQ1/100 | 1,16 | 23,67 | 2,08 | 23,9 | 1,25 | 23,7 | 2,2 | 23,92 | 1,91 | 23,86 | 2,61 | 24 |

Liite 3 Vedenkorkeudet (13/13)

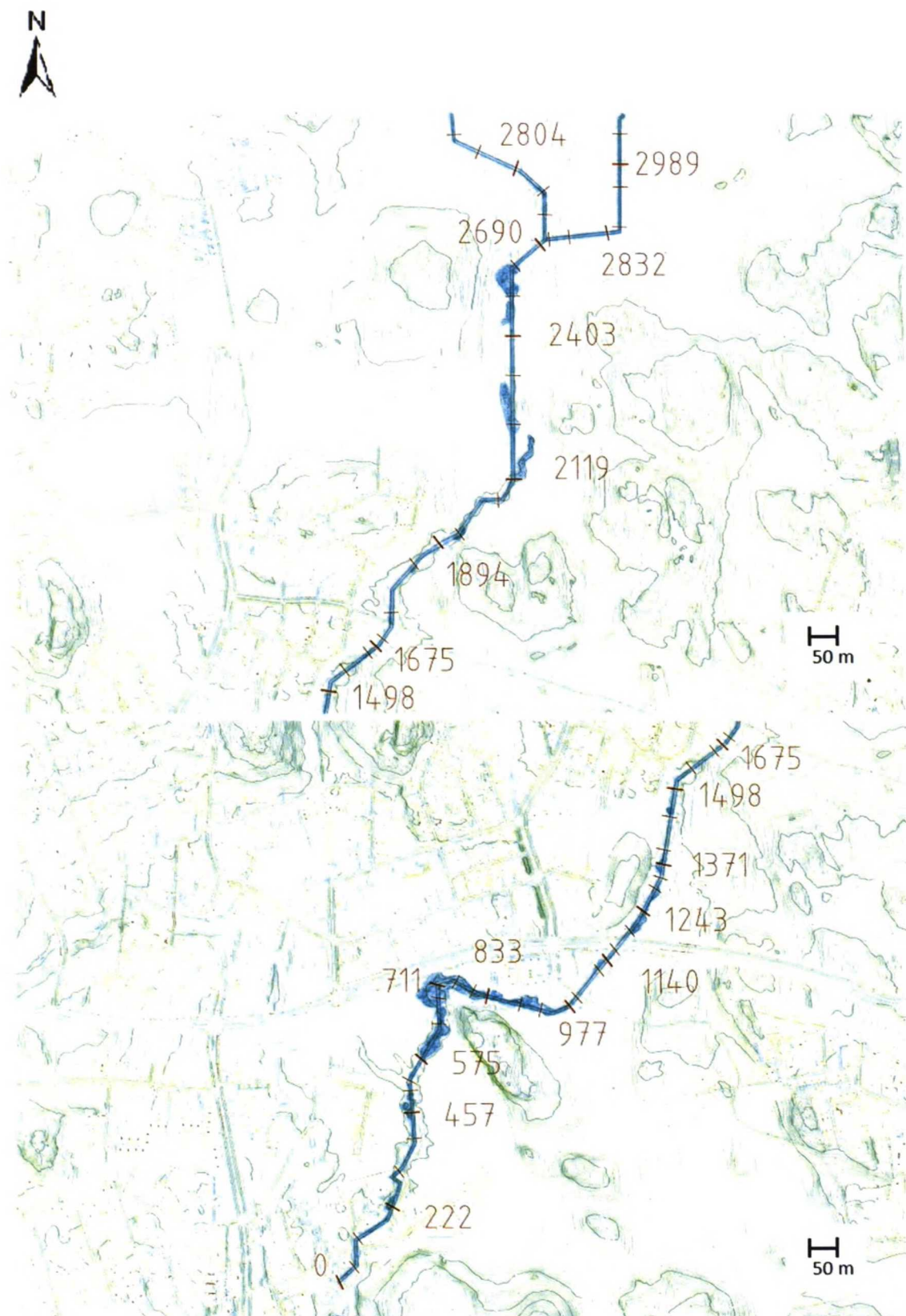
| | | | Nykytilanne | | Kaupungistuminen | | Ilmastomuutos | | Kaupungistuminen ja ilmastomuutos | | Kaupungistuminen, ilmastomuutos ja altaat | | Herkkyysanalyysi +20% | |
|----------|---------------|---------|----------------|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|---|---------------|-----------------------|---------------|
| Reach | River Station | Profile | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) | Q Total (m3/s) | W.S. Elev (m) |
| itahaara | 325 | HQ1/1 | 0,46 | 23,01 | 0,84 | 23,18 | 0,5 | 23,03 | 0,89 | 23,19 | 0,76 | 23,15 | 1,07 | 23,25 |
| itahaara | 325 | HQ1/5 | 0,65 | 23,11 | 1,18 | 23,28 | 0,7 | 23,13 | 1,25 | 23,3 | 1,07 | 23,25 | 1,5 | 23,36 |
| itahaara | 325 | HQ1/10 | 0,74 | 23,15 | 1,35 | 23,32 | 0,8 | 23,17 | 1,43 | 23,34 | 1,22 | 23,29 | 1,71 | 23,41 |
| itahaara | 325 | HQ1/20 | 0,89 | 23,2 | 1,6 | 23,38 | 0,95 | 23,22 | 1,7 | 23,4 | 1,45 | 23,35 | 2,02 | 23,47 |
| itahaara | 325 | HQ1/50 | 1,02 | 23,24 | 1,85 | 23,43 | 1,1 | 23,26 | 1,95 | 23,46 | 1,68 | 23,4 | 2,31 | 23,52 |
| itahaara | 325 | HQ1/100 | 1,16 | 23,27 | 2,08 | 23,48 | 1,25 | 23,3 | 2,2 | 23,5 | 1,91 | 23,45 | 2,61 | 23,58 |
| itahaara | 222 | HQ1/1 | 0,46 | 22,56 | 0,84 | 22,77 | 0,5 | 22,59 | 0,89 | 22,78 | 0,76 | 22,73 | 1,07 | 22,84 |
| itahaara | 222 | HQ1/5 | 0,65 | 22,65 | 1,18 | 22,87 | 0,7 | 22,68 | 1,25 | 22,89 | 1,07 | 22,84 | 1,5 | 22,95 |
| itahaara | 222 | HQ1/10 | 0,74 | 22,69 | 1,35 | 22,91 | 0,8 | 22,73 | 1,43 | 22,93 | 1,22 | 22,88 | 1,71 | 23 |
| itahaara | 222 | HQ1/20 | 0,89 | 22,77 | 1,6 | 22,97 | 0,95 | 22,79 | 1,7 | 22,99 | 1,45 | 22,94 | 2,02 | 23,06 |
| itahaara | 222 | HQ1/50 | 1,02 | 22,82 | 1,85 | 23,03 | 1,1 | 22,85 | 1,95 | 23,05 | 1,68 | 22,99 | 2,31 | 23,13 |
| itahaara | 222 | HQ1/100 | 1,16 | 22,86 | 2,08 | 23,08 | 1,25 | 22,89 | 2,2 | 23,11 | 1,91 | 23,04 | 2,61 | 23,2 |
| itahaara | 114 | HQ1/1 | 0,46 | 22,08 | 0,84 | 22,19 | 0,5 | 22,09 | 0,89 | 22,2 | 0,76 | 22,51 | 1,07 | 22,55 |
| itahaara | 114 | HQ1/5 | 0,65 | 22,24 | 1,18 | 22,35 | 0,7 | 22,25 | 1,25 | 22,36 | 1,07 | 22,55 | 1,5 | 22,62 |
| itahaara | 114 | HQ1/10 | 0,74 | 22,34 | 1,35 | 22,44 | 0,8 | 22,35 | 1,43 | 22,46 | 1,22 | 22,57 | 1,71 | 22,66 |
| itahaara | 114 | HQ1/20 | 0,89 | 22,42 | 1,6 | 22,55 | 0,95 | 22,43 | 1,7 | 22,57 | 1,45 | 22,61 | 2,02 | 22,74 |
| itahaara | 114 | HQ1/50 | 1,02 | 22,49 | 1,85 | 22,65 | 1,1 | 22,5 | 1,95 | 22,67 | 1,68 | 22,65 | 2,31 | 22,82 |
| itahaara | 114 | HQ1/100 | 1,16 | 22,56 | 2,08 | 22,76 | 1,25 | 22,57 | 2,2 | 22,79 | 1,91 | 22,71 | 2,61 | 22,92 |
| itahaara | 96 | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | | Culvert | |
| itahaara | 48 | HQ1/1 | 0,46 | 22,08 | 0,84 | 22,16 | 0,5 | 22,09 | 0,89 | 22,17 | 0,76 | 22,49 | 1,07 | 22,5 |
| itahaara | 48 | HQ1/5 | 0,65 | 22,23 | 1,18 | 22,29 | 0,7 | 22,23 | 1,25 | 22,3 | 1,07 | 22,5 | 1,5 | 22,53 |
| itahaara | 48 | HQ1/10 | 0,74 | 22,32 | 1,35 | 22,37 | 0,8 | 22,32 | 1,43 | 22,38 | 1,22 | 22,51 | 1,71 | 22,54 |
| itahaara | 48 | HQ1/20 | 0,89 | 22,39 | 1,6 | 22,44 | 0,95 | 22,39 | 1,7 | 22,45 | 1,45 | 22,52 | 2,02 | 22,56 |
| itahaara | 48 | HQ1/50 | 1,02 | 22,45 | 1,85 | 22,51 | 1,1 | 22,45 | 1,95 | 22,51 | 1,68 | 22,54 | 2,31 | 22,58 |
| itahaara | 48 | HQ1/100 | 1,16 | 22,51 | 2,08 | 22,57 | 1,25 | 22,51 | 2,2 | 22,58 | 1,91 | 22,55 | 2,61 | 22,61 |
| itahaara | 4 | HQ1/1 | 0,46 | 22,03 | 0,84 | 22,04 | 0,5 | 22,03 | 0,89 | 22,04 | 0,76 | 22,48 | 1,07 | 22,48 |
| itahaara | 4 | HQ1/5 | 0,65 | 22,19 | 1,18 | 22,2 | 0,7 | 22,19 | 1,25 | 22,2 | 1,07 | 22,48 | 1,5 | 22,48 |
| itahaara | 4 | HQ1/10 | 0,74 | 22,29 | 1,35 | 22,3 | 0,8 | 22,29 | 1,43 | 22,3 | 1,22 | 22,48 | 1,71 | 22,48 |
| itahaara | 4 | HQ1/20 | 0,89 | 22,36 | 1,6 | 22,37 | 0,95 | 22,36 | 1,7 | 22,37 | 1,45 | 22,48 | 2,02 | 22,49 |
| itahaara | 4 | HQ1/50 | 1,02 | 22,42 | 1,85 | 22,43 | 1,1 | 22,42 | 1,95 | 22,43 | 1,68 | 22,48 | 2,31 | 22,49 |
| itahaara | 4 | HQ1/100 | 1,16 | 22,48 | 2,08 | 22,49 | 1,25 | 22,48 | 2,2 | 22,49 | 1,91 | 22,49 | 2,61 | 22,49 |
| itahaara | 0 | HQ1/1 | 0,46 | 22,03 | 0,84 | 22,03 | 0,5 | 22,03 | 0,89 | 22,03 | 0,76 | 22,48 | 1,07 | 22,48 |
| itahaara | 0 | HQ1/5 | 0,65 | 22,19 | 1,18 | 22,19 | 0,7 | 22,19 | 1,25 | 22,19 | 1,07 | 22,48 | 1,5 | 22,48 |
| itahaara | 0 | HQ1/10 | 0,74 | 22,29 | 1,35 | 22,29 | 0,8 | 22,29 | 1,43 | 22,29 | 1,22 | 22,48 | 1,71 | 22,48 |
| itahaara | 0 | HQ1/20 | 0,89 | 22,36 | 1,6 | 22,36 | 0,95 | 22,36 | 1,7 | 22,36 | 1,45 | 22,48 | 2,02 | 22,48 |
| itahaara | 0 | HQ1/50 | 1,02 | 22,42 | 1,85 | 22,42 | 1,1 | 22,42 | 1,95 | 22,42 | 1,68 | 22,48 | 2,31 | 22,48 |
| itahaara | 0 | HQ1/100 | 1,16 | 22,48 | 2,08 | 22,48 | 1,25 | 22,48 | 2,2 | 22,48 | 1,91 | 22,48 | 2,61 | 22,48 |

Liite 4 Tulvakartat (1/6)



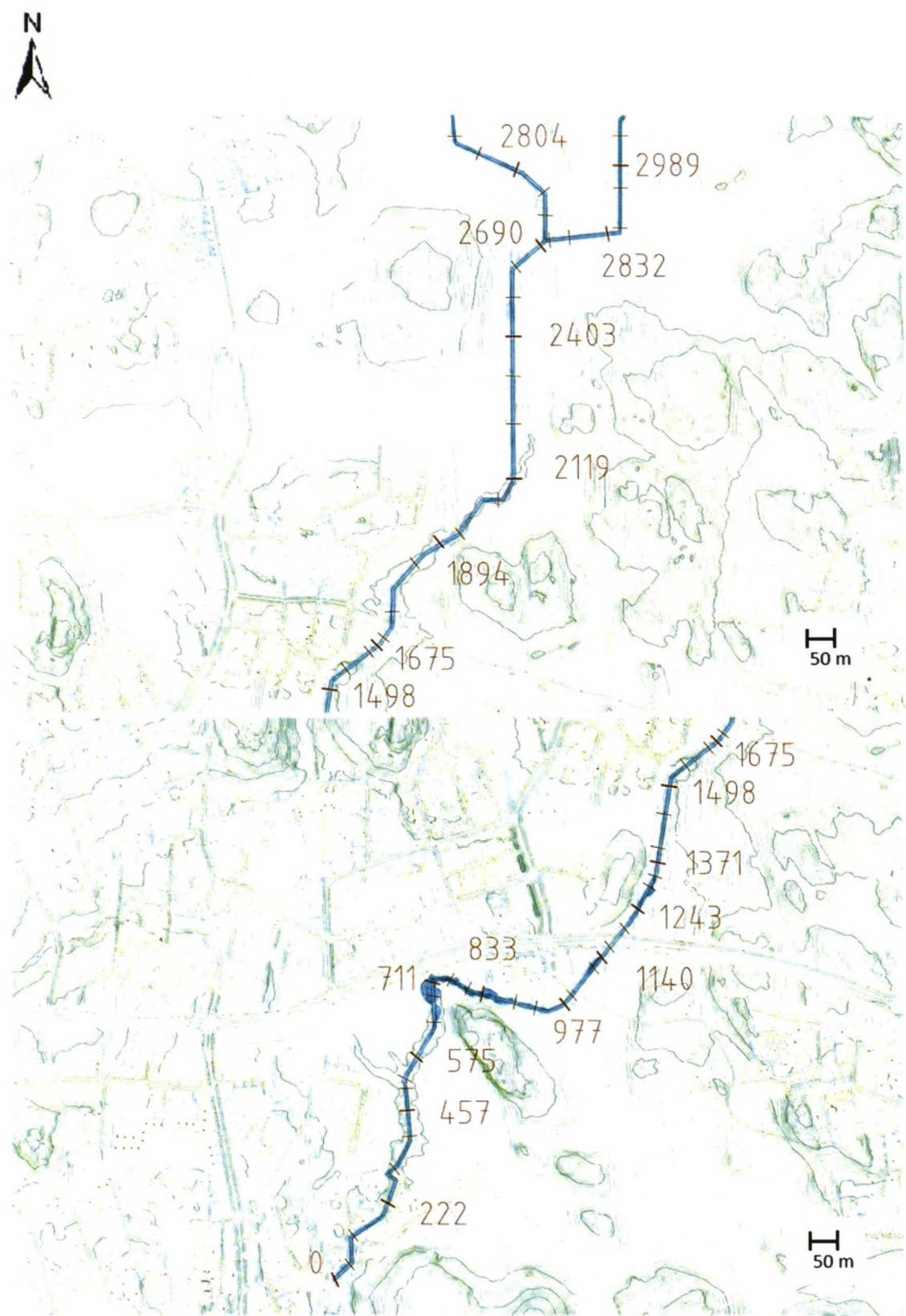
Kuva m. Kylmäojan itäisen haaran alaosan tulvakartat nykytilanteessa kerran 100 vuodessa toistuvalla virtaamalla.

Liite 4 Tulvakartat (2/6)



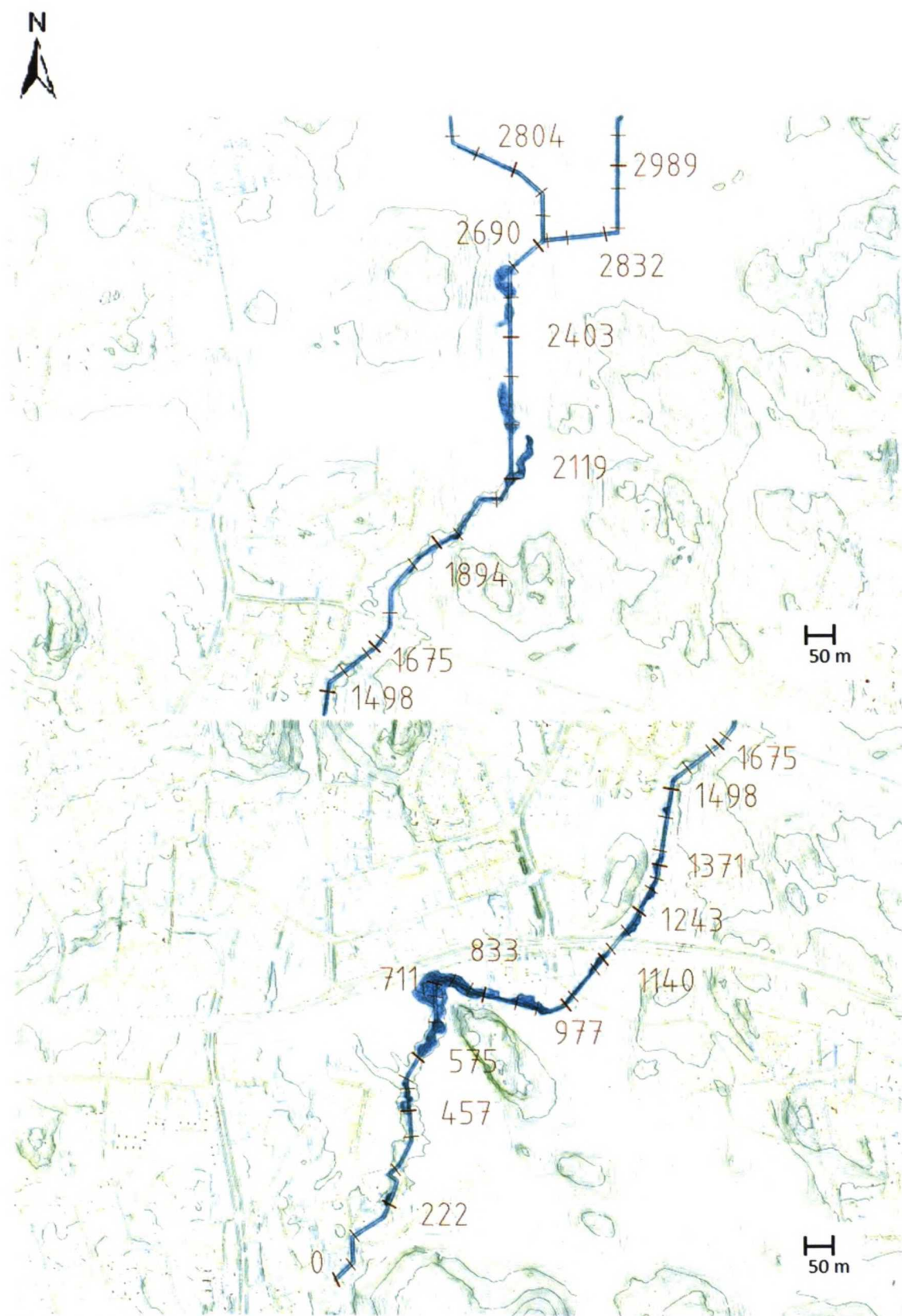
Kuva n. Kylmäojojan itäisen haaran alaosan tulvakartat kerran 100 vuodessa toistuvalla virtaamalla vuonna 2030, kun pelkän kaupungistumisen vaikutus virtaamaan otetaan huomioon.

Liite 4 Tulvakartat (3/6)



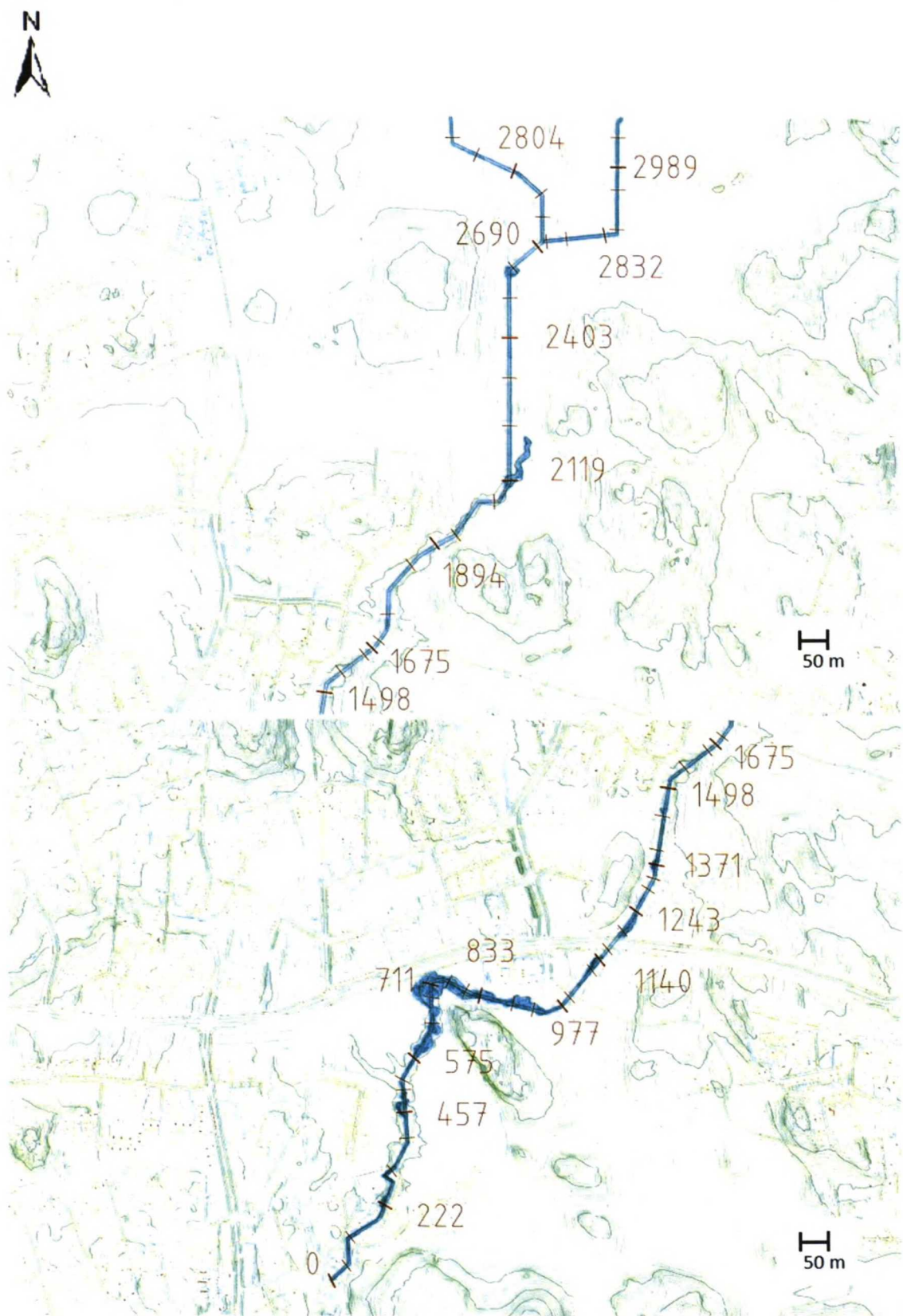
Kuva o. Kylmäojan itäisen haaran alaosan tulvakartat kerran 100 vuodessa toistuvalla virtaamalla vuonna 2030, kun pelkän ilmastonmuutoksen vaikutus virtaamaan otetaan huomioon.

Liite 4 Tulvakartat (4/6)



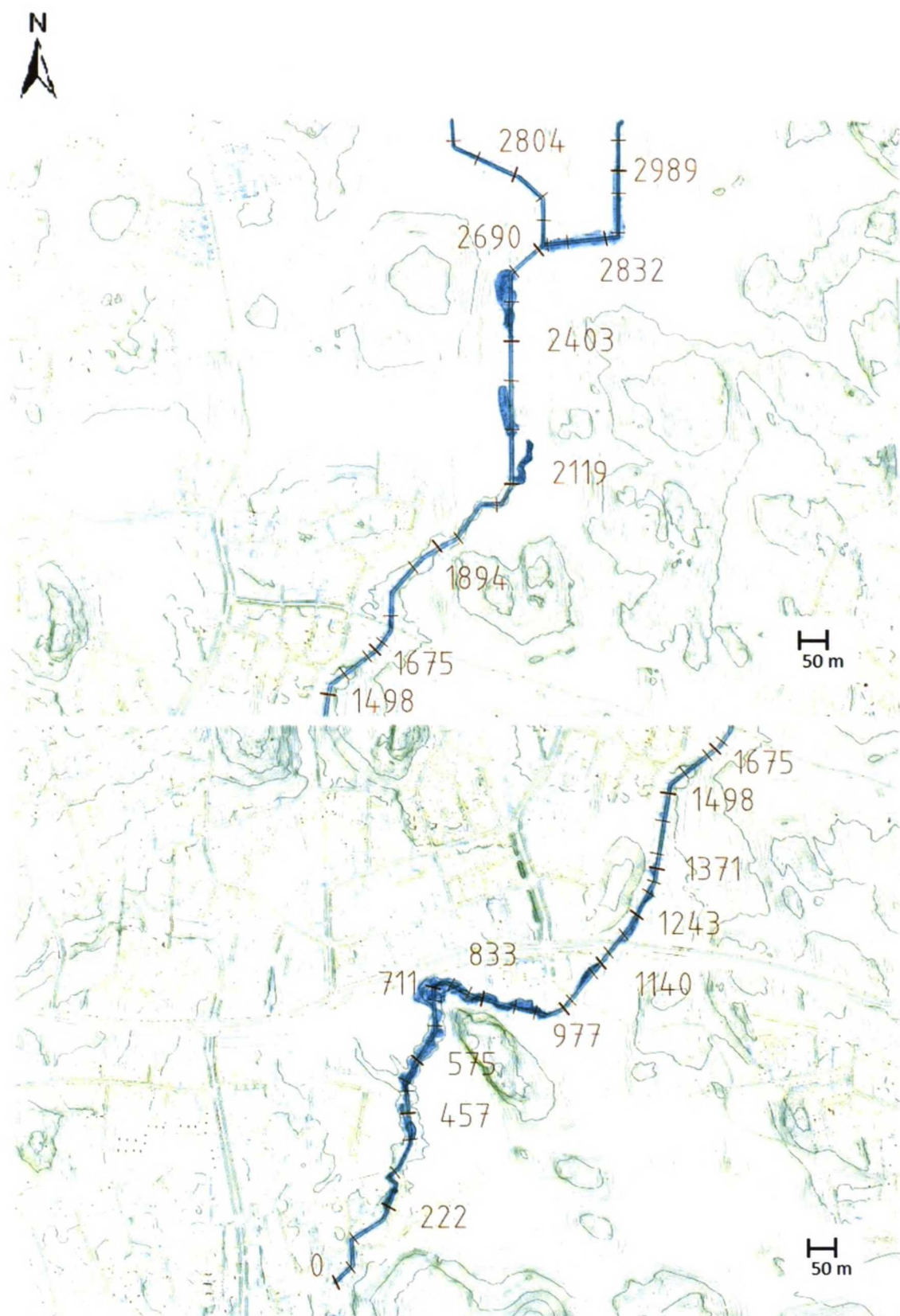
Kuva p. Kylmäoan itäisen haaran alaosan tulvakartat kerran 100 vuodessa toistuvalla virtaamalla vuonna 2030, kun sekä kaupungistumisen että ilmastomuutoksen vaikutukset virtaamaan otetaan huomioon.

Liite 4 Tulvakartat (5/6)



Kuva q. Kylmäojan itäisen haaran alaosan tulvakartat kerran 100 vuodessa toistuvalla virtaamalla vuonna 2030, kun kaupungistumisen, ilmastonmuutoksen sekä tasausaltaiden vedenpidätyksen vaikutukset virtaamaan otetaan huomioon.

Liite 4 Tulvakartat (6/6)



Kuva r. Kylmäojan itäisen haaran alaosan tulvakartat kerran 100 vuodessa toistuvalla virtaamalla vuonna 2030, kun kaupungistumisen ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus virtaamaan on otettu huomioon ja lisäksi virtaamaa on kasvatettu 20 %.